

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CERRO LARGO

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS

**BIOENSAIOS DE FITOTOXICIDADE E
BIODEGRADABILIDADE EM AMOSTRAS DE UM
LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO TRATADO
PELA REAÇÃO FERRIOXALATO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ELISA VERIDIANI SOARES

CERRO LARGO – RS

2015

ELISA VERIDIANI SOARES

**BIOENSAIOS DE FITOTOXICIDADE E BIODEGRADABILIDADE EM
AMOSTRAS DE UM LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO TRATADO PELA
REAÇÃO FERRIOXALATO**

Trabalho apresentado à Universidade Federal da Fronteira Sul, como parte das exigências do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Diego Ricieri Manenti

CERRO LARGO - RS

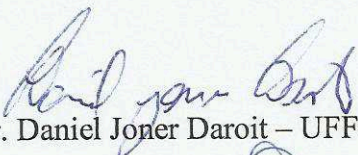
2015

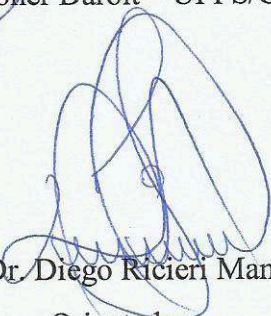
**BIOENSAIOS DE FITOTOXICIDADE E BIODEGRADABILIDADE EM
AMOSTRAS DE UM LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO TRATADO PELA
REAÇÃO FERRIOXALATO**

Trabalho apresentado à Universidade Federal da Fronteira Sul, como parte das exigências do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Aprovado em 01 de dezembro de 2015


Msc. Ariádine Réder Custódio de Souza – UNIOESTE/Toledo-PR


Prof. Dr. Daniel Joner Daroit – UFFS/Cerro Largo-RS


Prof. Dr. Diego Riciéri Manenti
Orientador

CERRO LARGO – RS

2015

*Aos meus pais que sempre me
incentivaram nessa caminhada.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, força, coragem e conforto em todos os momentos de minha vida em especial nessa etapa que se conclui.

Agradeço meus pais Zilmar e Margarete por todo o apoio e incentivo não medindo esforços para a realização desse sonho.

Ao Venicio Franke pelo amor, compreensão e as palavras de incentivo nos momentos mais difíceis.

Ao professor Dr. Diego Ricieri Manenti pela orientação, paciência e o auxílio na realização de todas as etapas desse trabalho.

As colegas e amigas de laboratório Júlia Bitencourt Welter e Michely Schimit pela ajuda na realização dos experimentos e o companheirismo.

A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental da UFFS/*Campus* Cerro Largo-RS pelos conhecimentos repassados.

Aos colegas e amigos de graduação pelo incentivo, apoio e os momentos compartilhados nesse período único de nossas vidas.

A Universidade Federal da Fronteira Sul, por tornar possível a realização desse trabalho, e ajudar na realização desse sonho.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, campus de Toledo/PR, por disponibilizar a Central analítica.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	iv
Lista de Símbolos e Abreviaturas	v
Resumo	vi
Abstract	vii
1. Introdução	8
2. Objetivos.....	10
2.1. Objetivo Geral	10
2.2. Objetivos Específicos	10
3. Referencial Teórico.....	11
3.1. Problemática ambiental	11
3.2. Legislação.....	12
3.3. Técnicas aplicadas ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários.....	13
3.3.1. Processos Oxidativos Avançados (POA's).....	13
3.4. Tratamento Integrado	15
3.5. Biodegradabilidade de efluentes.....	16
3.5.1. Avaliação da biodegradabilidade aeróbia.....	17
3.6. Ensaios de toxicidade	18
3.6.1 Ensaios de toxicidade utilizando o bioindicador <i>Lactuca sativa</i>	19
4. Materiais e Métodos	22
4.1. Amostras, reagentes, solventes e soluções	22
4.2. Procedimento experimental	23

4.3. Determinações analíticas	25
4.4. Ensaios biológicos	26
4.4.1. Ensaios de fitotoxicidade aguda com <i>Lactuca sativa</i>	26
4.4.2. Testes Zahn-Wellens de biodegradabilidade	29
5. Resultados e Discussões	31
5.1. Caracterização do lixiviado bruto	31
5.2. Experimento foto-Fenton-ferrioxalato	32
5.3. Avaliação da fitotoxicidade aguda	33
5.3.1. Resultados de Germinação: IG, GR, GA	34
5.3.2. Avaliação do Crescimento Relativo à Radícula e ao Hipocótilo	36
5.3.3. Inibição do Crescimento Relativo à Radícula e ao Hipocótilo	41
5.3.4. Análise da CL ₅₀	42
5.4. Avaliação da biodegradabilidade	43
6. Conclusões e Sugestões	46
7. Referências Bibliográficas	47
Apêndice	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Classificação da biodegradabilidade de efluentes.....	17
Figura 3.2. Identificação do hipocótilo e radícula da <i>Lactuca sativa</i>	20
Figura 4.1. Esquema do sistema fotocalítico.....	23
Figura 4.2. Representação esquemática do teste de fitotoxicidade	27
Figura 4.3. Realização do teste de fitotoxicidade.....	28
Figura 5.1. Perfis de degradação do COD e dos compostos aromáticos, bem como a concentração de íons ferro dissolvido, a temperatura e o pH da solução durante a reação ferrioxalato.....	33
Figura 5.2. Gráfico do Índice de Germinação	34
Figura 5.3. Gráfico da Germinação Absoluta.....	35
Figura 5.4. Gráfico da Germinação Relativa.....	36
Figura 5.5 Gráfico do Crescimento Relativo a Radícula.....	37
Figura 5.6 Gráfico do Crescimento Relativo ao Hipocótilo.....	37
Figura 5.7. Gráfico do CRH e concentração de íon ferro dissolvido nas amostras.....	38
Figura 5.8. Gráfico do CRH em relação a redução do COD	39
Figura 5.9. Gráfico do CRH em relação a redução da Abs 254 nm	40
Figura 5.10. Gráfico da Inibição do Crescimento Relativo a Radícula.....	41
Figura 5.11 Gráfico da Inibição do Crescimento Relativo ao Hipocótilo.....	41
Figura 5.12. Respostas da Concentração Letal para 50% dos organismos testes em relação à redução do COD, DQO, DBO5 e Absorvância em 254 nm.	43
Figura 5.13. Perfis de redução da DBO5, da DQO e a relação DBO5/DQO.	44
Figura 5.14. Biodegradabilidade obtida pelo teste Zahn-Wellens	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Classificação dos principais tipos de POA's	14
Tabela 3.2. Processos integrados para o tratamento do LAS	16
Tabela 3.3. Relação DBO ₅ /DQO	17
Tabela 3.4. Interpretação do teste Zahn-Wellens em 28 dias	18
Tabela 3.5. Estudos da fitotoxicidade empregando a <i>Lactuca sativa</i> como organismo teste	20
Tabela 5.1. Caracterização do lixiviado bruto	31
Tabela 5.2. Caracterização das amostras	32
Tabela 5.3. Respostas da Concentração Letal para 50% dos organismos testes	42

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

$\bullet OH$	Radical Hidroxila
<i>Abs 254 nm</i>	Absorvância no comprimento de 254nm
CL_{50}	Concentração letal a 50% dos organismos teste
<i>CONAMA</i>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>CONSEMA</i>	Conselho Estadual do Meio Ambiente
<i>CRH</i>	Crescimento Relativo ao Hipocótilo
<i>CRR</i>	Crescimento Relativo a Radícula
<i>Dt</i>	Porcentagem de biodegradação
<i>ETE</i>	Estação de tratamento de esgoto
<i>GA</i>	Germinação Absoluta
<i>GR</i>	Germinação Relativa
<i>IG</i>	Índice de Germinação
<i>LAS</i>	Lixiviado de aterro sanitário
<i>OECD</i>	Organização Europeia para o Desenvolvimento Econômico
<i>POA</i>	Processo oxidativo avançado
<i>EDTA</i>	Ácido etilenodiamino tetracético
<i>EDDS</i>	Ácido etileno diaminodisuccínio

RESUMO

Elisa Veridiani Soares. Bioensaios de fitotoxicidade e biodegradabilidade em amostras de um lixiviado de aterro sanitário tratado pela reação ferrioxalato.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade e a biodegradabilidade de amostras de um lixiviado de aterro sanitário tratado pela reação ferrioxalato. Para isto, utilizando um fotoreator de escala laboratorial, em sistema batelada, foi realizada uma reação ferrioxalato com o pH da solução 6,0 e 100 mg de Fe L^{-1} (1:3 de Fe: ácido oxálico) e retiradas amostras ao longo do tratamento para posterior ensaios fitotóxicos e de biodegradabilidade. A biodegradabilidade foi avaliada através de ensaios realizados em conformidade com o teste Zahn-Wellens. A fitotoxicidade foi analisada a partir de testes de germinação aplicados à *Lactuca sativa*, através da diluição das amostras tratadas em diferentes concentrações, tendo como variáveis-resposta o índice de germinação (IG), as germinações absoluta e relativa (GA e GR), os crescimentos relativos do hipocótilo e da radícula (CRH e CRR) bem como suas inibições (ICRH e ICRR). Além disto, foram calculadas as concentrações letais a 50% dos organismos testados (CL_{50}). Foram obtidas respostas significativas de redução dos compostos orgânicos tais como a DQO_5 , DBO, COD e absorvância a 254 nm, bem como melhoria nas condições de biodegradabilidade (DBO_5/DQO) confirmadas pelos respectivos ensaios. Segundo os testes Zahn-Wellens, o LAS bruto é constituído por uma pequena parcela de compostos biodegradáveis em relação a DBO/DQO (0,18), o que pode ser melhorado ao longo do tratamento ferrioxalato, alcançando uma relação de cerca de 0,4 após cerca de 55 mM de H_2O_2 consumido. Contudo, os testes de fitotoxicidade confirmaram os benefícios da reação ferrioxalato na oxidação de compostos inicialmente tóxicos ($\text{CL}_{50} \sim 15\%$), uma vez que a CL_{50} evolui para $\sim 44\%$ dos organismos testes.

Palavras-Chave: Lixiviado de aterro sanitário (LAS), Ensaios biológicos, Fitotoxicidade, Biodegradabilidade.

ABSTRACT

Elisa Veridiani Soares. Assessment of phytotoxicity and biodegradability at a sanitary landfill leachate treated by ferrioxalate reaction.

The phytotoxicity and biodegradability of the sanitary landfill leachate (SLL) samples treated by the ferrioxalate reaction was evaluate. Thus, using the lab-scale photoreactor based on the batch system, an ferrioxalate reaction with pH of the solution 6 and 100 mg Fe L⁻¹ (1:3 of Fe: oxalic acid) was performed, and samples were taken during the treatment to follow bioassays. Biodegradability was evaluate by Zahn-Wellens tests, while the phytotoxicity assays was performed using the *Lactuca s.* germinations. Using different dilutions, variables responses such as germination index (GI), absolute and relative germination (AG and RG), relative growth of the hypocotyl and radicle (RGH and RGR) as well as its inhibitions (IRGH and IRGR); was analyzed. In addition, lethal concentrations of 50% tested organisms was calculated (LC₅₀). In such conditions, a good responses of COD, BOD, DOC and absorbance at 254 nm reductions were obtained, as well as biodegradability conditions were increased (BOD/COD) confirmed by the biodegradability assays. According to the Zahn-Wellens tests, the untreated SLL consist in a low portion of biodegradability compounds in terms of BOD/COD ratio (0.18), which can be increase during the ferrioxalate treatment, leading a ~ 0.4 ratio after ~ 55 mM of H₂O₂ consumed. However, the beneficial chemical oxidation of toxic compounds (LC₅₀ ~ 15%) was confirmed by the phytotoxicity assays, since the LC₅₀ increased to ~ 44%.

Keywords: Sanitary landfill leachate, Biological assays, Phytotoxicity, Biodegradability.

1. INTRODUÇÃO

O descarte inadequado de efluentes, oriundos das mais diversas atividades humanas, tem causado problemas ambientais tais como a poluição das águas e do solo. A falta de tratamento ou mesmo a ineficiência dos processos aplicados são os principais fatores que acarretam em tais problemas.

Atualmente, com o avanço científico e tecnológico surgem inúmeros estudos empregando técnicas distintas a fim de aperfeiçoar os sistemas de tratamento destes efluentes. Estes estudos utilizam parâmetros físico químicos tais como a redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), da demanda química de oxigênio (DQO), do carbono orgânico e inorgânico (COT), da turbidez, descoloração e controle do pH da solução dentre outros, como indicadores da eficiência do tratamento. Porém, desconsideram os efeitos tóxicos (toxicidade) destes parâmetros isolados, em conjunto ou os próprios subprodutos da degradação destes bem como de outros poluentes, os quais conferem características ao tratado que pode causar efeitos adversos aos organismos aquáticos e terrestres.

Nos últimos anos, devido ao aumento da disponibilidade e consumo de bens e produtos, elevou-se significativamente a quantidade de resíduos sólidos domésticos urbanos gerados, os quais mesmo que adequadamente dispostos em centrais de tratamento de resíduos geram um subproduto da sua decomposição, o chorume e consequentemente o lixiviado. O lixiviado de aterro sanitário (LAS) possui um alto poder poluidor devido principalmente à elevada carga orgânica e inorgânica presente na sua composição, tais como ácidos húmicos e fúlvicos, compostos recalcitrantes e metais pesados. Contudo, vários são os tratamentos empregados para torná-lo passível de descarte, tendo como objetivo alcançar os padrões exigidos pelas legislações vigentes.

Dentre os tratamentos mais empregados destacam-se os processos biológicos devido ao baixo custo de instalação e manutenção. No entanto, devido à presença de materiais recalcitrantes, que não são passíveis de oxidação biológica, a eficiência destes é limitada. Com isto, surgem os processos de oxidação avançada (POA) tal como a reação foto-Fenton, o qual se baseia nas reações entre sais de Fe e H_2O_2 combinados a radiação UV-vis, para proporcionar uma oxidação química com agentes oxidantes tal como o radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$). Este radical é não seletivo e proporciona elevadas eficiências na oxidação de compostos orgânicos e até mesmo sua mineralização para CO_2 , H_2O e íons, bem como na conversão destes compostos recalcitrantes para formas fracionadas que por vezes podem ser

biodegradáveis. No entanto, em amostras com excesso de poluentes suspensos sua eficiência é limitada, principalmente devido aos complexos formados entre os sais ferrosos e os próprios poluentes, os quais precipitam para a forma de lodo e desfavorecem a reação. Além disto, a solubilidade dos íons ferrosos requer um meio reacional ácido.

Como alternativa, sugere-se formar complexos ferricarboxílicos entre os sais ferrosos e ligantes orgânicos tais como os ácidos cítrico, EDTA, oxálico, EDDS entre outros. Com isto, forma-se um complexo mais estável do que os formados entre os íons ferrosos e os poluentes; mais fotossensíveis, o que melhora a atividade fotocatalítica e seu rendimento quântico; e são mais solúveis, possibilitando utilizar pH neutro ou próximo para manter o íon ferro em solução. Contudo, embora haja alguns trabalhos reportando os efeitos tóxicos e biológicos em amostras de efluentes tratados pela reação foto-Fenton, poucos são os dados que elucidam estes efeitos em amostras de lixiviados de aterro sanitário tratado pela reação foto-Fenton induzida por ferricarboxílicos tal como o ferrioxalato.

Com isto, este trabalho tem por objetivo avaliar a fitotoxicidade e a biodegradabilidade de amostras de lixiviado de um aterro sanitário tratado pela reação ferrioxalato. Para isto, utilizando um fotoreator de escala laboratorial, foi realizado um experimento utilizando a condição ideal para a reação ferrioxalato, sendo: pH da solução 6,0 e 100 mg Fe(III) L⁻¹ na proporção 1:3 de Fe(III):ácido oxálico (Manenti *et al.*, 2015a). Objetivando identificar o ponto ideal para interromper a oxidação química, visando proporcionar um tratado passível de oxidação biológica e sem efeitos deletérios aos microrganismos da flora aquática, as amostras tratadas foram submetidas a testes Zahn-Wellens de biodegradabilidade, bem como a bioensaios de fitotoxicidade utilizando o bioindicador *Lactuca sativa*.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a biodegradabilidade e os efeitos fitotóxicos de amostras de um lixiviado de aterro sanitário tratado pela reação ferrioxalato.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o lixiviado de aterro sanitário (LAS);
- Realizar o tratamento do LAS utilizando a reação foto-Fenton em um protótipo em sistema batelada;
- Avaliar a toxicidade aguda utilizando *Lactuca sativa* como organismo teste;
- Determinar a porcentagem de inibição de germinação através do Índice de Germinação (IG), da Germinação Relativa (GR) e da Germinação Absoluta (GA);
- Determinar o crescimento e a inibição relativa a radícula e ao hipocótilo das sementes germinadas;
- Determinar a concentração letal a 50% dos organismos vivos (CL₅₀);
- Realizar testes Zahn-Wellens de biodegradabilidade nas amostras tratadas;
- Avaliar a porcentagem de biodegradabilidade (D_t);
- Identificar uma possível integração entre técnicas de oxidação avançada com oxidações biológicas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Problemática ambiental

O crescimento populacional combinado com a forte atividade industrial e o poder de compra da população fizeram com que a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) aumentasse significativamente (Campos, 2012). Só no Brasil cerca de 210 toneladas de RSU são gerados por dia (ABRELPE, 2013). Atualmente a Lei Federal nº 12.305 de 2010, a qual extingue os lixões, preconiza a instalação de centrais de tratamento de resíduos nas quais apenas o resíduo orgânico deva ser destinado para as células de deposição (Brasil. Lei 12.305, 2010). No entanto, como subproduto da degradação destes compostos orgânicos, continua sendo gerado o chorume, o qual é lixiviado principalmente pelas águas de precipitação.

O lixiviado de aterro sanitário (LAS) é composto basicamente por diferentes contaminantes recalcitrantes orgânicos e inorgânicos como ácidos húmicos e fúlvicos, pesticidas, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, fenóis clorados, amônia e metais pesados (Silva *et al.*, 2013a; Zhang *et al.*, 2013) tornando-se um potencial poluidor do meio ambiente contaminando o solo, lençóis freáticos e as águas superficiais (Costa *et al.*, 2011).

Os problemas ambientais causados pelo LAS são descritos no mundo todo. No Egito por exemplo, uma avaliação dos impactos ambientais associados ao lixiviado de aterros sanitários identificou a contaminação das águas subterrâneas nas imediações dos aterros com alguns parâmetros ultrapassando os limites da organização mundial de saúde (OMS) e da Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), sendo eles: condutividade, sólidos totais dissolvidos, cloretos, sulfatos, Mn e Fe (El-Salam e Abu-Zuid, 2014).

Na China, um estudo avaliou a contaminação por compostos inorgânicos em torno de um aterro municipal na cidade de Zhoukou, na província de Henan, onde foi identificado Cl^- , NH_4^+ , Fe e Mn nas imediações. Os pesquisadores concluíram que as águas subterrâneas próximas do local estavam impróprias para o consumo devido à contaminação pelo chorume (Han *et al.*, 2014).

No Brasil, na cidade de Santa Maria-RS, os mananciais próximos ao aterro encontram-se em níveis de contaminação, devido principalmente a falhas no sistema de coleta do chorume bem como na ineficiência das lagoas de estabilização. Sendo que a baixa remoção da

carga de poluentes nas lagoas impossibilita o despejo do efluente tratado (Samuel-Rosa *et al.*, 2012).

No estado do Paraná a contaminação ocorreu no solo, onde foram encontradas concentrações de chumbo e mercúrio acima do estipulado para o solo natural na área de um lixão (Cavallet *et al.*, 2013).

Vê-se, portanto, a necessidade de um tratamento eficiente para o LAS a fim de evitar os problemas ambientais apresentados acima e ainda cumprir as legislações vigentes que tratam do assunto.

3.2. Legislação

A norma técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR nº 8.419 de 1992, fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, e prevê um sistema de drenagem e remoção de percolato para o seu posterior tratamento.

Já os padrões para o descarte do efluente após o tratamento são estabelecidos, a nível nacional, pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 de 2005, alterada pela Resolução CONAMA nº 430 de 2011. Esta última, além de estabelecer padrões físicos, químicos e biológicos para o adequado descarte, estabelece que o efluente não deva causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos. Para isto, deve-se estar de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente de cada estado.

No entanto, apenas cinco estados brasileiros possuem sua própria legislação referente ao testes de toxicidade, sendo eles: Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul; o restante segue os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430 de 2011.

No estado do Rio Grande do Sul a Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) nº 128 de 2006, estabelece os padrões para emissões de efluentes líquidos nas águas superficiais do estado. Já em relação à toxicidade, a Resolução CONSEMA nº 129 de 2006 especifica e estabelece os critérios e padrões de emissão para toxicidade de efluentes líquidos lançados nas águas superficiais do estado.

Tais legislações asseguram um menor impacto ambiental decorrente do despejo de efluentes e reforçam ainda mais a necessidade de implantação de tratamentos eficientes para a redução dos poluentes e minimização da toxicidade.

3.3. Técnicas aplicadas ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários

As técnicas de tratamento do LAS dependem principalmente da composição do mesmo. Elas podem ser feitas através de processos biológicos, químicos, físico-químicos ou a combinação entre eles. Atualmente, as técnicas de tratamento mais aplicadas são os processos biológicos (aeróbio e anaeróbio) devidos principalmente ao baixo custo de implantação e manutenção, além da elevada eficiência na redução da DBO, podendo chegar a 90% em algumas lagoas aeradas (Wang *et al.*, 2004; Ferreira *et al.*, 2012).

No entanto, de acordo com Tartari (2005), apenas o tratamento convencional (biológico) não é suficiente para remover os compostos orgânicos bem como os compostos recalcitrantes, metais pesados entre outros. Além disto, a ineficiência do tratamento no caso de poluentes de baixa biodegradabilidade bem como a necessidade de grandes áreas de instalação, faz com que novas técnicas sejam estudas e empregadas para complementar os processos biológicos tais como os processos de separação por membranas (Ahmed e Lan, 2012; Brown *et al.*, 2013; Xie *et al.*, 2014), eletrólise (Toba, 2012), biofiltração (Ferraz *et al.*, 2014) e processos oxidativos avançados (Silva *et al.*, 2013a; Amor *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2015).

3.3.1. Processos Oxidativos Avançados (POA's)

Os processos oxidativos avançados se caracterizam pela eficácia na remoção de poluentes orgânicos, bem como elevadas parcelas de recalcitrantes de diversos efluentes industriais (Nogueira *et al.*, 2007; Oller *et al.*, 2011; Borba *et al.*, 2014; Amor *et al.*, 2015; Pouran *et al.*, 2015; Manenti *et al.*, 2015a). Caracterizam-se essencialmente pela formação do radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), o qual é possui propriedade oxidante. Este radical é capaz de oxidar uma ampla variedade de compostos orgânicos por vezes até CO_2 , H_2O e íons inorgânicos (Nogueira *et al.*, 2007).

Os POA's são divididos em homogêneos (os que possuem catalisadores dissolvidos e formam uma única fase) e heterogêneos (que contam com a presença de catalisadores em forma sólida, formando mais de uma fase com substrato e catalisador), conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Classificação dos principais tipos de POA's.

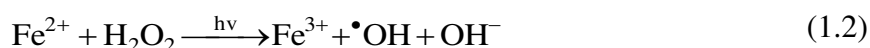
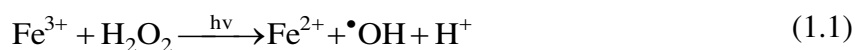
	Processos	
	Homogêneo	Heterogêneo
Com Irradiação	H ₂ O ₂ /UV	Catalisador/UV
	O ₃ /UV	Catalisador/UV/H ₂ O ₂
	Fe ²⁺ /H ₂ O ₂ /UV-Vis	Fotoeletroquímico
Sem Irradiação	O ₃ /HO ⁻	
	O ₃ /H ₂ O ₂	Eletro-Fenton
	Fe ²⁺ /H ₂ O ₂ (Fenton)	Eletro-oxidativo

Fonte: Gomes (2009).

Os POA's são considerados tecnologias viáveis para o tratamento de efluentes contendo compostos refratários, recalcitrantes e similares aos presentes no lixiviado de aterro sanitário (Amor *et al.*, 2015). Quando aplicados ao tratamento de efluentes industriais, se destacam por tratar os efluentes com padrão superior aos processos convencionais, como por exemplo, a não geração de lodo. Sua aplicabilidade é ampla, podendo ser utilizado para o tratamento de efluentes têxteis (Manenti *et al.*, 2010; Vilar *et al.*, 2011a; Módenes *et al.*, 2012; Manenti *et al.*, 2015a), para remoção de fármacos em efluentes industriais (Badawy *et al.*, 2009), tratamento de efluente de curtume (Borba *et al.*, 2013; Borba *et al.*, 2014), tratamento de vinhoto (Ioannou *et al.*, 2014), dentre outros.

No tratamento de lixiviado de aterro sanitário, os POA's têm apresentado bons resultados (Silva *et al.*, 2015). Cavalcanti (2013), utilizando o processo Foto-Fenton para o tratamento do chorume de um aterro sanitário, com razão de biodegradabilidade DBO/DQO = 0,094, obteve eficiência de remoção de cerca de 90% da DQO e cerca de 86% do COT, além do aumento da razão de biodegradabilidade para 0,55.

O processo Foto-Fenton, o qual consiste basicamente na irradiação de Fe(III), que é reduzido a Fe (II) na presença de H₂O₂, e estabelece um ciclo e regeneração a Fe(III) gerando [•]OH, conforme apresentado nas Equações 1.1 e 1.2.



No entanto, essas reações só ocorrem em meio ácido, numa faixa ótima de pH que varia de 2,5 a 3 uma vez que em valores acima de pH 3,6 ocorre a precipitação do Fe(III) (Silva *et al.*, 2006; Nogueira *et al.*, 2007). Além disso, a eficiência e a taxa de reação podem

ser reduzidos devido à formação de complexos entre os íons de ferro com os poluentes orgânicos e pela precipitação do íons de ferro como fosfatos (Manenti *et al.*, 2015a).

Com o objetivo de aumentar a eficiência e evitar os problemas citados, diversos estudos utilizando ligantes orgânicos tais como os ácidos oxálico, cítrico, EDDS (Etileno Diamina-N,N Disuccínico), EDTA (Etileno Diamina Tetra-Acético) e outros vêm sendo realizados (Prato-Garcia *et al.*, 2009; Monteagudo *et al.*, 2012; Doumic *et al.*, 2015; Soares *et al.*, 2015; Manenti *et al.*, 2015a). Estes ligantes formam complexos fortes, estáveis e solúveis com o ferro(III), evitando os complexos entre os íons de ferro com os poluentes orgânicos e íons de ferro inorgânico, além de absorverem uma fração maior do espectro de radiação solar até 580 nm. Além disto, são mais solúveis, permitindo a dissolução do íon ferro com pH mais elevado, possibilitando a reação sem a necessidade de acidificação. Ainda são fotod Descarboxilados sob radiação visível e proporcionam uma via mais rápida para a regeneração do Fe^{3+} , aumentando a eficiência do processo (Malato *et al.*, 2009; Monteagudo *et al.*, 2010).

Com esse viés, vários estudos foram realizados como, por exemplo, para o tratamento de efluente de indústrias têxteis (Manenti *et al.*, 2015a), para o tratamento de efluentes de vinícolas (Monteagudo *et al.*, 2012) e degradação de fenóis sintéticos (Prato-Garcia *et al.*, 2009).

3.4. Tratamento Integrado

De acordo com Manenti (2013) a integração de processos consiste em adotar tratamentos de naturezas distintas que reduzam os níveis de contaminantes presentes nos efluentes industriais a fim de promover de forma eficiente seu descarte e/ou reuso como insumos e águas. A integração mais conhecida para o tratamento de efluentes industriais é a precipitação e coagulação combinadas a tratamentos biológicos (Manenti, 2013; Silva 2009).

Os processos integrados são aplicados para o tratamento de efluentes oriundos das mais diversas atividades, como por exemplo, para o tratamento de efluentes de suinocultura utilizando a combinação de saponificação seguida de precipitação (Huang *et al.*, 2014); para o tratamento de águas residuais altamente concentrada contendo vários corantes sintéticos por um processo combinado de coagulação/floculação e nanofiltração (Liang *et al.*, 2014); e para o tratamento de efluente têxtil através de eletrocoagulação, foto-Fenton e oxidação biológica (Manenti *et al.*, 2014).

Usualmente um único processo aplicado ao tratamento do LAS não possibilita atingir padrões de lançamento, devido principalmente às altas concentrações de DQO, nitrogênio e cor. Com o propósito de atender essa limitação, a combinação de processos químicos, biológicos, e processos físico-químicos têm a capacidade de suprir a deficiência um do outro em um único processo tornando-se uma alternativa viável (ambiental e economicamente) e de alta eficiência (Abood *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2013b).

A Tabela 3.3 apresenta a aplicação de alguns processos combinados para o tratamento do LAS, bem como a redução dos parâmetros estudados.

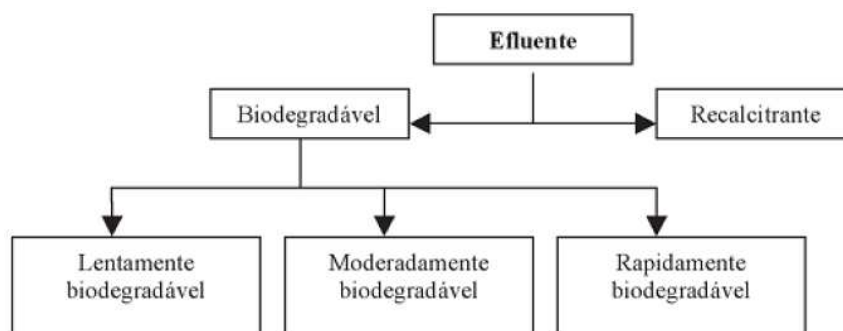
Tabela 3.2. Processos integrados para o tratamento de LAS.

Tratamento	Parâmetro	Redução	Refêrencia
Agitação/Coagulação seguido para um Reator Anaeróbio	DBO ₅ ; DQO; NH ₃ N	93%, 95% e 98,1%, respectivamente	Abood <i>et al.</i> , 2014
Coagulação/Floculação seguido de Foto-Fenton Fotocatálise	DQO, COD	89% e 75%, respectivamente	Amor <i>et al.</i> , 2015
heterogênea (via TiO ₂ /UV) seguido para um biorreator	DBO ₅ ; DQO	90% e 87%, respectivamente	Chemlal <i>et al.</i> , 2014

A integração entre POA's e tratamento biológico apresenta-se como uma opção exequível de elevada eficiência. Como justificativa a essa afirmação leva-se em consideração a expressiva presença de compostos recalcitrantes no LAS, que não são passíveis de oxidação biológica, fazendo com que haja a necessidade de interrupção do tratamento biológico (ou a existência de um pré-tratamento) a fim de entrar em um processo oxidativo avançando para transformar a matéria não biodegradável em biodegradável e retornar ao processo biológico (Vilar *et al.*, 2011b; Silva *et al.*, 2013b; Chemlal *et al.*, 2014).

3.5. Biodegradabilidade de efluentes

De acordo com Machado (2013) os efluentes e compostos biodegradáveis são aqueles passíveis de decomposição pela ação dos microrganismos. Eles são classificados de acordo com a facilidade de degradação, podendo ser decompostos rapidamente, moderadamente ou lentamente (Figura 3.1).



Fonte: Moravia (2007).

Figura 3.1. Classificação da Biodegradabilidade de Efluentes.

O conhecimento da biodegradabilidade de um efluente é de fundamental importância já que por meio dessa informação podem-se tirar conclusões sobre o método de tratamento a ser empregado. Efluentes com elevada biodegradabilidade, por exemplo, podem passar por tratamento biológico; ao contrário, efluentes com baixa biodegradabilidade necessitam de tratamento físico-químico, ou um pré-tratamento objetivando o aumento da biodegradabilidade para posterior tratamento biológico. A relação DBO_5/DQO pode auxiliar na escolha do tratamento a ser empregado, posto que ela fornece indicações sobre a biodegradabilidade do efluente, conforme apresentado na Tabela 3.3.

Os testes de biodegradabilidade são importantes ferramentas capazes de avaliar a possibilidade de degradação microbiana sob condições ambientais específicas (Vasconcelos, 2011). Além da relação apresentada na Tabela 3.3, outras metodologias podem ser aplicadas para a avaliação da biodegradabilidade de um efluente, como, por exemplo, ensaios biológicos de Zahn-Wellens (Oliveira e Leão, 2009).

Tabela 3.3. Relação DBO_5/DQO

Relação DBO_5/DQO	Biodegradabilidade	Tratamento
Elevada ($> 0,4$)	Fração biodegradável elevada	Indicação para tratamento biológico
Intermediária (entre cerca de 2,5 e 3,5)	Fração biodegradável não elevada	Estudos de tratabilidade para verificar viabilidade do tratamento biológico
Baixa ($< 0,2$)	Fração inerte (não biodegradável) elevada	Possível indicação para tratamento físico-químico

Fonte: adaptado de Von Sperling (2005).

3.5.1. Avaliação da biodegradabilidade aeróbia

De acordo com Vasconcelos (2011), os testes de biodegradabilidade regulamentados pela *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD) são utilizados pela

comunidade europeia para a classificação dos produtos químicos, referente aos riscos ambientais, e ainda para a classificação e destinação final dos efluentes. Através do teste Zahn Wellens (OECD-302-B, 1992) é possível estimar o quanto o efluente é passível de biodegradação. O teste é conduzido em batelada onde a única fonte de carbono disponível para o crescimento dos microrganismos é o composto em estudo (Vasconcelos, 2011; OECD, 1992).

Segundo Vasconcelos (2011), mesmo não simulando as condições específicas encontradas no meio ambiente, o teste permite averiguar o comportamento da biodegradabilidade de compostos em ambientes aquáticos e terrestres mesmo que não forneçam informações em relação aos metabólitos formados durante o processo.

Para Rodrigues (2005), a avaliação da biodegradabilidade aeróbia pelo teste de Zahn-Wellens (OECD, 1992) possui boa aplicabilidade devido à similar aparência com um tratamento convencional, no qual a avaliação final da biodegradabilidade da substância teste se dá pela medida da concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) ou DQO.

O teste de Zahn-Wellens pode ser utilizado tanto para a avaliação de um tratamento integrado (biológico/físico-químico) (Pintor, 2010; Silva *et al.*, 2013b; Manenti *et al.*, 2014), quanto para somente avaliar a biodegradação (Vasconcelos, 2011; Machado, 2013). A fim de estimar quando um composto é passível de um tratamento biológico o teste apresenta as interpretações expostas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Interpretações do teste Zahn-Wellens em 28 dias.

Porcentagem de Degradação	Interpretação
> 70%	Substâncias biodegradáveis
20% < X < 70%	Parcialmente biodegradáveis; formação de metabólitos estáveis
< 20%	Não biodegradáveis

Fonte: Machado (2013).

3.6. Ensaios de toxicidade

Quando se refere ao controle de despejo de efluentes em corpo receptor as primeiras avaliações das características do efluente são em relação os parâmetros químicos e físico-químicos tais como pH, cor, turbidez, DBO, COT, concentrações de íons inorgânicos. No entanto, a avaliação da toxicidade do efluente torna-se de fundamental importância, uma vez que, além de representar uma alternativa para complementar as análises químicas, os testes de

toxicidade permitem constatar que os efluentes após o tratamento estão ou não isentos de provocar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos e terrestres (Rodrigues *et al.*, 2013; Nunes, 2010).

Os testes de toxicidade consistem, basicamente, na exposição de organismos a diferentes condições-teste visando mensurar os efeitos letais e/ou subletais dessas condições impostas (Damato e Barbieri, 2011). Eles são divididos em (Oliveria *et al.*, 2011):

- Ensaio de toxicidade aguda: É em geral, o primeiro estudo realizado, quando não se tem informações sobre as substâncias a serem estudadas. São caracterizados pela curta duração da exposição (24-96 h) e por necessitarem de aparatos experimentais menos elaborados, nos quais a imobilização e a letalidade são os indicadores comumente avaliados.
- Ensaio de toxicidade crônica: São utilizados quando se deseja avaliar os efeitos sobre as funções biológicas, tais como reprodução e crescimento. São experimentos de longa duração, a partir da exposição prolongada a concentrações subletais. Estes testes são avaliados através de análises específicas (histológicas, hematológicas, comportamentais, etc.) utilizadas para a detecção de alterações crônicas, como distúrbios fisiológicos, deformidades, alterações no crescimento, reprodução, entre outras.

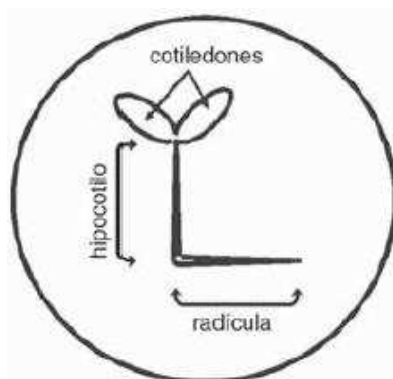
Os organismos utilizados nos testes de toxicidade normalmente incluem grupos representativos dos ecossistemas marinhos, fluviais ou terrestres, como microrganismos, plantas, invertebrados e peixes (Cunha, 2011). As espécies utilizadas nesses testes devem apresentar as seguintes características: seletividade constante e elevada aos contaminantes, elevadas disponibilidade e abundância, uniformidade e estabilidade genética nas populações, representatividade de seu nível trófico, significado ambiental em relação à área de estudo, ampla distribuição e importância comercial e, facilidade de cultivo e de adaptação às condições de laboratório, além disso, devem ser utilizadas espécies cuja fisiologia, genética e comportamento sejam bem conhecidos, o que pode facilitar a interpretação dos resultados (Costa *et al.*, 2008; Castro, 2013).

3.6.1 Ensaio de toxicidade utilizando o bioindicador *Lactuca sativa*

Os ensaios utilizando o bioindicador *Lactuca sativa* (alface) são utilizados para avaliação de compostos solúveis em água e misturas complexas como efluentes industriais, lixiviado de solos e sedimentos (Castro, 2013). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) aconselha a utilização de sementes de *Lactuca sativa* por ser uma espécie de relevância econômica e ecológica. Além disso, o curto ciclo de vida aliado a sua grande

importância na agricultura e o seu cultivo difundido em quase todo mundo, fazem com que as sementes de *Lactuca sativa* sejam ideais para a realização de bioensaios (Castro, 2013).

O ensaio de toxicidade utilizando *Lactuca sativa* é um ensaio de toxicidade aguda (120 h de exposição) que avalia os efeitos fitotóxicos dos compostos em estudo na germinação das sementes e o desenvolvimento do hipocótilo e da radícula nos primeiros dias de crescimento (Figura 3.2) (Sobrero e Ronco, 2004).



Fonte: SOBRERO e RONCO (2004).

Figura 3.2. Identificação do hipocótilo e radícula da *Lactuca sativa*.

Diversos estudos de toxicidade utilizando *Lactuca sativa* veem sendo realizados com o intuito de identificar os possíveis riscos causados por determinados efluentes mesmo após o tratamento. A Tabela 3.5 apresenta algumas aplicações de estudos de fitotoxicidade.

Tabela 3.5. Estudos de fitotoxicidade empregando a *Lactuca sativa* como organismos teste.

Estudo	Referências
Toxicidade de efluente de cereais tratado por biorreator anaeróbico	Young <i>et al.</i> , 2012
Avaliação da fitotoxicidade dos percolados das colunas de cinza de carvão e de solo com cinza de carvão	Castro <i>et al.</i> , 2012
Avaliação da toxicidade de água tratada com nanopartículas para remoção de chumbo	Recillas <i>et al.</i> , 2011
Estudo da toxicidade de efluentes industriais tratado por adsorção para a remoção de metais pesados	Sanceya <i>et al.</i> , 2011

4. MATERIAIS E MÉTODOS

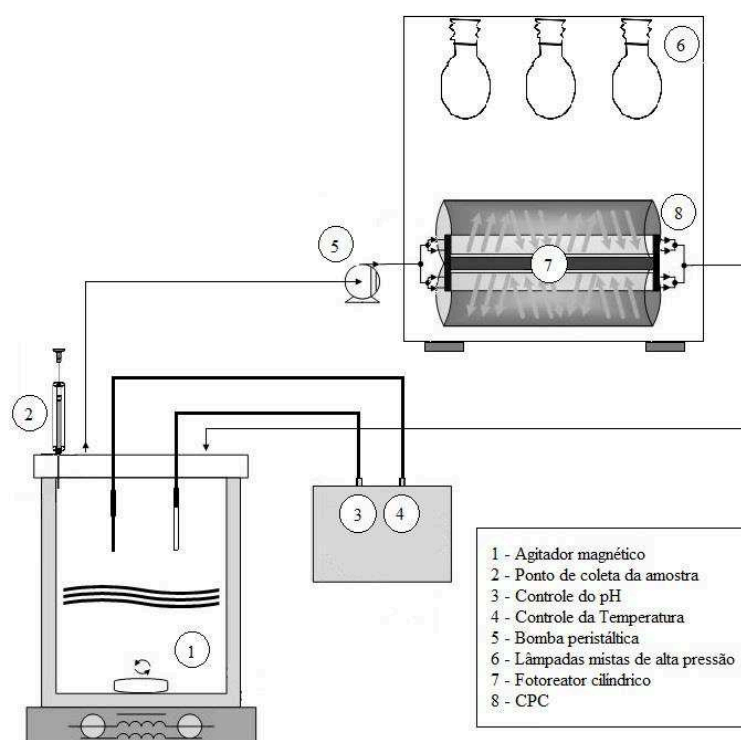
4.1. Amostras, reagentes, solventes e soluções

As amostras de lixiviado foram coletadas em uma Central Regional de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Esta Central de Tratamento consiste na recepção e disposição dos resíduos sólidos urbanos, previamente triados, de diversos municípios circunvizinhos, sendo que apenas o material orgânico é destinado para as células de disposição. O chorume, oriundo do processo de decomposição do material orgânico, é percolado e lixiviado até os drenos que o conduzem para um sistema de tratamento de efluentes baseado na osmose reversa. As amostras tratadas e não tratadas pela reação foto-Fenton foram preservadas de acordo com o Standard Methods (APHA, 2005).

Todos os reagentes e solventes químicos utilizados apresentam pureza de grau analítico. A água destilada foi produzida utilizando um sistema Millipore® (Nova Instruments, NI 2007). Ácido sulfúrico (Vetec, 1,5 M) e hidróxido de sódio (ALPHATEC, 6 M) foram utilizados para ajustar o pH das amostras, quando necessário. Peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (ALPHATEC, 30% v/v, 1.10 g cm^{-3}), sulfato de Fe(II) hepta-hidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Vetec) e cloreto de Fe(III) hexa-hidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Merck) foram utilizados como reagentes Fenton. Ácido oxálico ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Merck) foi utilizado como ligante orgânico. Metavanadato de amônia (Sigma-Aldrich) e ácido acético (Panreac, 99,5%), bem como 1,10-fenantrolina ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2$, Fluka, 99%) e ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$, Synth, 176,13%), foram utilizados para as determinações de H_2O_2 e Fe total dissolvido, respectivamente. Para o preparo das soluções minerais utilizadas para o teste de Zahn-Wellens foram utilizados fosfato monopotássico (KH_2PO_4 , Vetec), fosfato de potássio dibásico (K_2HPO_4 , Vetec), fosfato dissódico (Na_2HPO_4 , Dinâmica), cloreto de amônio (NH_4Cl , Vetec), cloreto de cálcio (CaCl_2 , Dinâmica), sulfato de magnésio (MgSO_4 , Vetec) e cloreto de ferro (FeCl_3 , Vetec), além de glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, ALPHATEC) para o preparo da solução referência. Para a realização dos testes de toxicidade, foram utilizadas sementes de *Lactuca sativa* (Isla Sementes), todas com índice de germinação de 95% e 100% de pureza.

4.2. Procedimento experimental

As reações ferrioxalato foram realizadas utilizando um fotoreator de escala laboratorial, desenvolvido com base em um protótipo comercial (ATLAS, modelo SUNTEST XLS+), descrito por Soares *et al.* (2014) e Manenti *et al.* (2015b). O fotoreator encontra-se instalado no Laboratório de Efluentes da Universidade Federal da Fronteira Sul-UFFS, Campus Cerro Largo-RS. A Figura 4.1 apresenta um desenho esquemático do sistema fotocatalítico utilizado.



Fonte: Adaptado de Soares *et al.*, 2014.

Figura 4.1. Sistema fotocatalítico.

O recipiente de vidro foi preenchido com 1 L de lixiviado, o qual foi conectado por tubos de teflon ao fotoreator cilíndrico em borossilicato (Schott-Duran 3.3, Alemão, *cutoff* 280 nm, diâmetro interno de 46.4 mm, 180 mm de comprimento, e espessura de 1.8 mm). O fotoreator foi posicionado no centro focal dos coletores parabólicos concentradores (CPC's), os quais se utilizam da reflexão proporcionada pela superfície do alumínio anodizado eletropolido para concentrar a irradiação UV-vis. O recipiente de vidro foi posicionado sobre um agitador magnético (Centauro, modelo CAMA-15), mantendo uma constante agitação

para a homogeneização da solução durante os experimentos. Neste momento, uma pequena alíquota da amostra inicial foi coletada.

Após, a bomba peristáltica (MS TECNOPON, DMC 100) foi ligada recirculando o LAS, e mantendo uma taxa de fluxo de $0,63 \text{ L min}^{-1}$ dentro do sistema fechado. Três lâmpadas mistas de alta pressão de Hg (FLC-E40, 500 W) foram ligadas proporcionando uma radiação de 1500 W, o que corresponde a uma irradiação de luz UV-Vis de cerca de $9 \text{ W}_{\text{UV}} \text{ m}^{-2}$, medidos pelo sensor UV (Apogee, modelo UM-200) no centro do fotoreator. No sistema fechado, uma fração (27%) do total de lixiviado permaneceu dentro do fotoreator durante 0,43 min., e constantemente irradiada por luz UV-visível. Enquanto isso, o volume remanescente foi mantido no escuro durante 1,16 min. Além disto, o sistema foi equipado por um medidor de pH e temperatura da solução (HANNA, modelo HI 3221). A quantidade de energia UV acumulada por unidade de volume de lixiviado ($Q_{\text{UV},n}$, J L^{-1}) no interior do reator, no intervalo de tempo Δt , de acordo com Malato *et al.* (2002) foi estimado pela Equação 4.1.

$$Q_{\text{UV},n} = Q_{\text{UV},n-1} + \Delta t_n \overline{UV}_{G,n} \frac{A_r}{V_t}; \Delta t_n = t_n - t_{n-1} \quad (4.1)$$

onde t_n (s) é o tempo correspondente para o número n de amostras, V_t (L) é o volume total no reator, A_r (m^2) é a área superficial iluminada do coletor e $\overline{UV}_{G,n}$ é a média de irradiação UV medida durante o período de tempo Δt_n (s).

Após um curto período de transferência de energia UV e consequentemente calor, aguardou-se que a temperatura da solução fosse estabilizada (de ~ 20 para 45°C). Além disto, o pH da solução foi ajustado para os valores requeridos ($\sim 6,0$) (Manenti *et al.*, 2015a) e nova alíquota foi coletada.

Antes de iniciar as reações, os íons catalíticos ($100 \text{ mg Fe(III) L}^{-1}$) e o ácido oxálico foram adicionados ao efluente em proporções pré-estabelecidas de 1:3 M (Monteagudo *et al.*, 2012) e uma alíquota foi recolhida após cada etapa ($\approx 5 \text{ min.}$), para avaliar a homogeneização e a concentração de ferro dissolvido definitivo. Finalmente, cada execução de reação foi iniciada quando a primeira dose de H_2O_2 (500 mg L^{-1}) foi adicionado ao efluente. Periodicamente, alíquotas de amostras tratadas foram recolhidas até que fosse consumido todo o H_2O_2 adicionado.

Utilizando este método, foi realizado um experimento cinético monitorando a degradação dos compostos orgânicos (descoloração e redução dos compostos aromáticos a

254 nm) e o consumo relativo de H_2O_2 residual em excesso. Baseado nesta cinética, um novo experimento foi realizado adicionando pontualmente apenas a quantidade requerida de H_2O_2 para atingir cada ponto de tratamento, denominado ensaio de biodegradabilidade. Somente após aferição do total consumo do H_2O_2 foram coletadas as amostras, e uma nova dose de H_2O_2 foi adicionado para a continuidade da reação. Este procedimento é de fundamental importância para que não haja efeitos adversos nas análises envolvendo microrganismos e oxidação biológica causada pelo excesso de peróxido.

As amostras coletadas foram destinadas para a realização das determinações físico-químicas. Para os ensaios biológicos, o pH da solução coletada foi ajustado para aproximadamente 7.

4.3. Determinações analíticas

A determinação da concentração de peróxido de hidrogênio foi realizada por espectrofotometria utilizando o método metavanadato de amônio (Nogueira *et al.*, 2005). Este método baseia-se na formação de um cátion de cor vermelho-alaranjado quando o peróxido reage com o metavanadato. A absorbância do H_2O_2 é detectada por espectrofotometria a 450 nm. A concentração do íon ferro foi determinada através do método colorimétrico com 1:10 Fenantrolina. Este método baseia-se na complexação do cátion Fe^{2+} com este composto, dando origem a um complexo colorido que é detectado através da medição da absorbância a 510 nm. Para a determinação do ferro total é realizada uma redução do cátion Fe^{2+} a Fe^{3+} através da adição de ácido ascórbico (ISO 6332, 1988). A demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) foi determinada de acordo com o protocolo OECD-301F utilizando um sistema OxiTop (respirometria manométrica), conforme descrito no Standard Methods (APHA, 2005). A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada pelo método colorimétrico de refluxo fechado conforme descrito no Standard Methods (APHA, 2005). Esta metodologia foi aferida em quintuplicatas analíticas utilizando uma solução padrão (Combicheck 20) com $750 \pm 75 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$. O resultado médio obtido foi de $718 \pm 18,9 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$. O carbono orgânico dissolvido (COD), o qual é uma subtração do carbono inorgânico dissolvido (CID) do carbono total dissolvido (CTD), bem como o nitrogênio total foram determinados utilizando um analisador de carbono orgânico total (Shimadzu, modelo TOC-VCPh). A cor foi determinada utilizando o método descrito no Standard Methods (APHA, 2005) e expresso em unidades de cor (Pt-Co). Para medição da cor adotou-se uma diluição de 1:50. A turbidez foi determinada utilizando um turbidímetro (PoliControl, AP 2000 iR) e expressa em unidades de

turbidez (NTU). O pH e a temperatura das soluções foi aferido utilizando um pHmetro/temperatura (HANNA, HI 3221). A condutividade foi determinada utilizando um condutivímetro (Digimed, DM-32). Os sólidos totais (ST), suspensos (SS), voláteis (SV) e fixos (SF) foram determinados utilizando métodos gravimétricos segundo o Standard Methods (APHA, 2005). A absorvância nos comprimentos de onda máxima absorção relativa aos compostos aromáticos simples (254 nm) e conjugados (228, 284 e 310 nm) foram avaliados utilizando um espectrofotômetro UV-Vis (Thermo-Scientific, Evolution 201). A concentração de polifenóis totais (mg ácido cafeico L⁻¹) foi determinada por espectroscopia a 765 nm utilizando o reagente Folin-Ciocalteu (Folin e Ciocalteu, 1927). Todas as amostras foram previamente centrifugadas a 3000 rpm durante 3 min (CELM, LS-3 Plus), exceto para as determinações dos sólidos, COD, DQO e DBO₅. Partes das análises foram realizadas na Central Analítica da Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE, *Campus* Toledo-PR.

4.4. Ensaios biológicos

Os ensaios biológicos foram realizados nos Laboratórios de Efluentes e Ecotoxicologia da Universidade Federal da Fronteira Sul-UFFS, *Campus* Cerro Largo-RS.

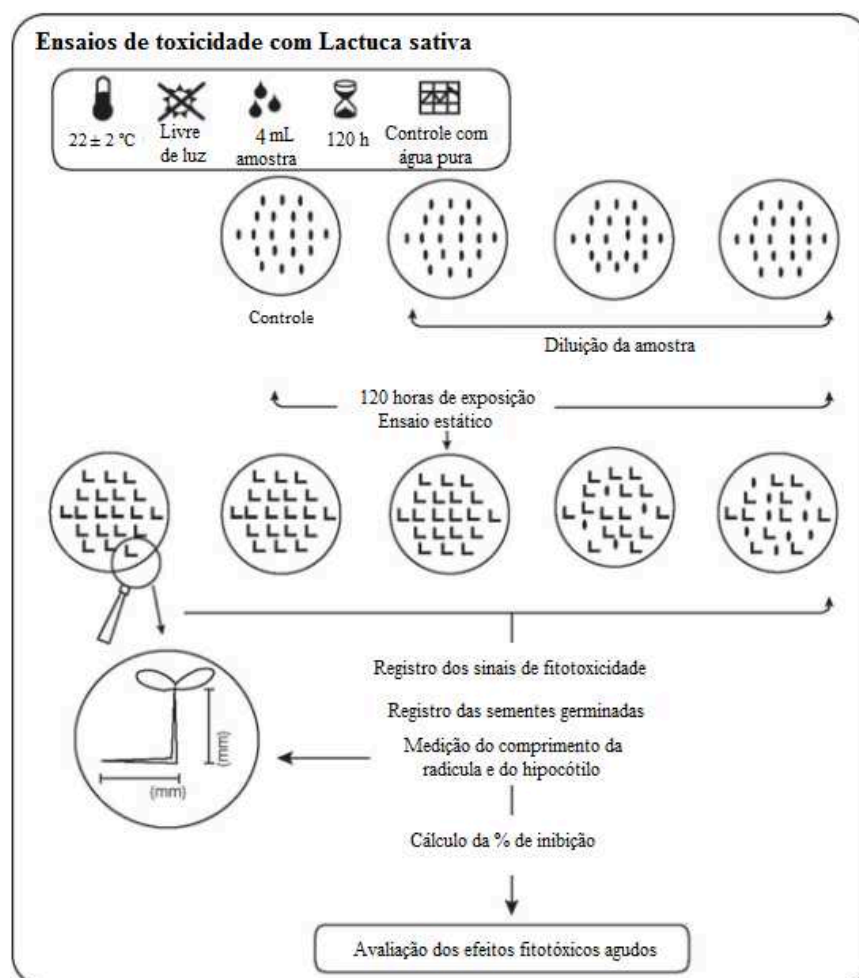
4.4.1. Ensaios de fitotoxicidade aguda com *Lactuca sativa*

Os ensaios com sementes de *Lactuca sativa* foram realizados seguindo a metodologia proposta por Sobrero e Ronco (2004). Primeiramente, as amostras do lixiviado tratado foram diluídas para 1, 3, 10, 30 e 100% em água (de abastecimento público), além de um controle utilizando apenas água. Os ensaios foram realizados em placas de Petri de 90 mm de diâmetro, sendo colocado um disco de papel filtro sobre cada uma. A fim de acompanhar o crescimento das radículas e do hipocótilo, o papel filtro foi saturado com 4 mL de amostra diluída, onde foram distribuídas 20 sementes de *Lactuca sativa* de maneira equidistante. Visando evitar perdas por evaporação, as placas foram cobertas com plástico filme. Posteriormente foram incubadas por 120 horas, mantendo a temperatura de 22 ± 2°C e livre de luz. Os ensaios foram realizados em triplicata. As Figuras 4.2 e 4.3 representam, respectivamente, o esquema do teste de fitotoxicidade e a realização do mesmo.

A avaliação da fitotoxicidade foi realizada através da comparação dos efeitos observados na germinação das amostras tratadas, não tratadas e o controle. Após o período de

exposição, obteve-se a concentração letal média (CL₅₀), ou seja, o volume de amostra que provoca a morte de 50% dos organismos expostos, além do efeito na germinação no crescimento da radícula e do hipocótilo.

Para determinação do efeito na radícula e hipocótilo, foram realizadas medidas de ambos em cada uma das plântulas com o auxílio de paquímetro digital. A medida da radícula foi realizada considerando desde o nó (região de transição entre a raiz e o hipocótilo) até o ápice radicular. Para medir o hipocótilo, considerou-se desde o nó até a inserção dos cotilédones.



Fonte: Adaptado de Sobrero e Ronco, 2004.

Figura 4.2. Representação esquemática do teste de fitotoxicidade.

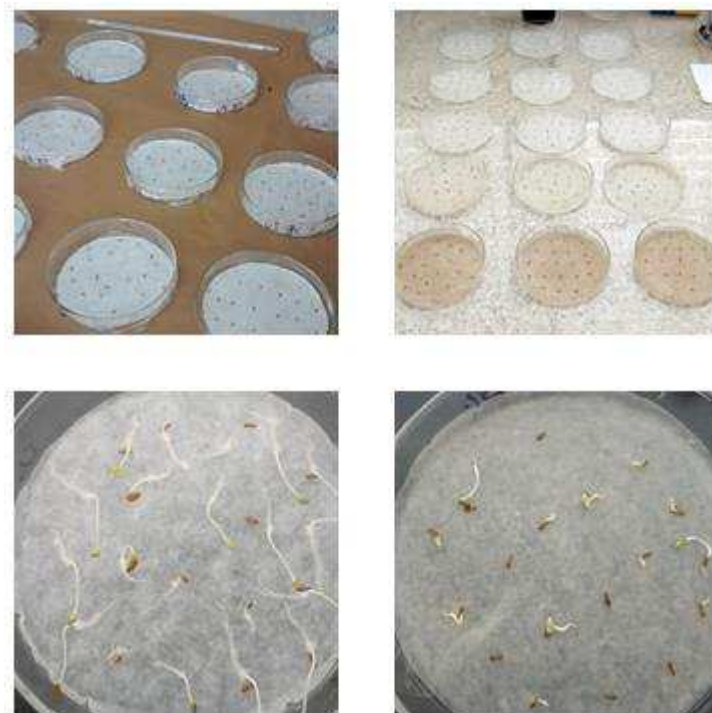


Figura 4.3. Realização do teste de fitotoxicidade.

Para obter os resultados do teste de germinação, deve-se calcular a média e o desvio padrão, estimando a porcentagem de inibição do crescimento das radículas e dos hipocótilos, os quais consideram a média de comprimento de cada diluição em relação à média de comprimento do branco, conforme as Equações 4.2 a 4.5.

$$\% \text{ crescimento relativo à radícula} = \frac{MCRA}{MCRC} \times 100 \quad (4.2)$$

$$\% \text{ inibição do crescimento relativo à radícula} = \frac{MCRA - MCRC}{MCRC} \times 100 \quad (4.3)$$

onde *MCRA*, média do comprimento da raiz na amostra e; *MCRC*, média do comprimento da raiz no controle.

$$\% \text{ crescimento relativo ao hipocótilo} = \frac{MCHA}{MCHC} \times 100 \quad (4.4)$$

$$\% \text{ inibição do crescimento relativo ao hipocótilo} = \frac{MCHA - MCHC}{MCHC} \times 100 \quad (4.5)$$

onde *MCHA*, média do crescimento do hipocótilo nas amostras e, *MCHC*, média do crescimento do hipocótilo no controle.

Para o cálculo da porcentagem de inibição da germinação, considerou-se a média do número de sementes germinadas em cada diluição em relação ao número de sementes germinadas no controle. Para tanto foram utilizadas as Equações 4.6 a 4.8.

$$\% \text{ de índice de germinação (IG)} = \frac{NSG}{NST} \times \frac{MCRa}{MCRc} \times 100 \quad (4.6)$$

$$\% \text{ de germ. Relativa (GR)} = \frac{NSGA}{NSGC} \times 100 \quad (4.7)$$

$$\% \text{ de germ. Absoluta (GA)} = \frac{NSG}{NST} \times 100 \quad (4.8)$$

onde MCRa, média do crescimento relativo a radícula na amostra; MCRc, média do crescimento relativo a radícula no controle; NSGA, número de sementes germinadas na amostra; NSGC, número de sementes germinadas no controle; NSG, número de sementes germinadas e; NST, número de sementes totais.

Os valores da CL₅₀ foram estimados através do programa Trimmer Spearman-Kärber Method®, versão 1.5 (Hamilton, 1977).

4.4.2. Testes Zahn-Wellens de biodegradabilidade

O ensaio foi realizado em conformidade com o protocolo EC, Directive 88/303/EEC (OECD, 1992). Todas as amostras estão isentas de peróxido de hidrogênio, conforme descrito em 4.2, uma vez que este é prejudicial ao desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela oxidação biológica.

Primeiramente, foram preparadas quatro soluções, das quais posteriormente obteve-se o meio mineral utilizado nos ensaios. As soluções são compostas por 8,5 g de KH₂PO₄, 21,75 g de K₂HPO₄, 33,4 g de Na₂HPO₄, 0,5 g de NH₄Cl, 36,4 g de CaCl₂, 22,5 g de MgSO₄ e 0,25 g de FeCl₃, diluídos em água destilada. O lodo ativado utilizado nos ensaios foi coletado em uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário (ETE) localizada no noroeste do Rio Grande do Sul. Após a coleta, o lodo foi centrifugado e o redissolvido no meio mineral durante duas horas. Posteriormente, a biomassa redissolvida foi novamente centrifugada e pesada.

Antes de iniciar os ensaios, as amostras tiveram o pH ajustado para ≈ 7 . Foram utilizados Erlenmeyers de 250 mL, nos quais foram adicionados 240 mL de amostra, massa de inóculo (biomassa preparada) e meio mineral. A massa de inóculo adicionada em cada Erlenmeyer foi calculada a partir da Equação 4.9. Paralelamente, foram feitos ensaios com

branco e com composto de referência. Para o branco, utilizou-se 240 mL de água destilada e a massa de inóculo foi calculada a partir da média dos valores utilizados nas amostras. Para o controle, utilizou-se como composto de referência solução de glucose, com valor de COD igual ao valor máximo de COD das amostras e a massa de inóculo foi equivalente ao valor máximo de inóculo utilizado nas amostras.

$$Massa\ de\ in\acute{o}culo = \frac{3}{0,09} \times 240 \times COD\ da\ amostra \quad (4.9)$$

Os ensaios foram feitos durante 28 dias consecutivos, sob agitação constante e temperatura de 25°C. Após 3 horas do início dos ensaios, os frascos foram retirados e pesados, considerando este, o peso zero. Neste momento foi feita a primeira leitura do COD. Posteriormente, a cada 4 dias foi feita nova leitura, sempre completando a massa perdida por evaporação com água destilada. Nos últimos dois dias do ensaio, também foram feitas leituras.

A porcentagem de biodegradação foi determinada através da Equação 4.10.

$$Dt = \left[1 - \frac{C_t - C_B}{C_A - C_{BA}} \right] \times 100 \quad (4.10)$$

onde D_t , porcentagem de biodegradabilidade; C_A e C_{BA} , concentração de COD (mg C L⁻¹) da mistura e do branco do ensaio, respectivamente, após 3 horas do início do experimento; C_t e C_B , concentração de COD (mg C L⁻¹), determinado na mistura e no branco, no tempo t de amostragem.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização do lixiviado bruto

A Tabela 5.1 apresenta a caracterização do lixiviado bruto.

Tabela 5.1. Caracterização do LAS bruto.

Parâmetros	Valor	Unidades
pH	7,86	Escala Sørensen
Temperatura	20,8	°C
Cor (dil. 1:50)	203	mg Pt-Co L ⁻¹
Turbidez	59	NTU
Polifenóis totais	197	mg ácido cafeico L ⁻¹
Absorvância em 254 nm	0,983	-
Sólidos Totais (ST)	5	g L ⁻¹
Sólidos Suspensos (SS)	433	mg L ⁻¹
Sólidos Voláteis (SV)	397	mg L ⁻¹
Sólidos Fixos (SF)	115	mg L ⁻¹
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	2350	mg O ₂ L ⁻¹
Demanda Biológica de Oxigênio (DBO ₅)	420	mg O ₂ L ⁻¹
DBO ₅ /DQO	0,18	-
Carbono Total Dissolvido (CTD)	933	mg C L ⁻¹
Carbono Inorgânico Dissolvido (CID)	159	mg C L ⁻¹
Carbono Orgânico Dissolvido (COD)	774	mg C L ⁻¹
Nitrogênio Total Dissolvido (NTD)	427	mg N L ⁻¹
Ferro dissolvido	9,2	mg Fe L ⁻¹

Este LAS é caracterizado por apresentar elevada coloração (preto/castanha) e turbidez, bem como elevado teor orgânico expresso em altos valores de demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO₅), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total. Além disto, a fração dos componentes orgânicos biologicamente oxidáveis é baixa (DBO₅/DQO = 0,18 = não biodegradável). Estas características possivelmente são originárias da quebra de moléculas de substâncias húmicas, dos próprios microrganismos e seus metabólitos, bem como hidrocarbonetos aromáticos, os quais são representados pela elevada absorvância nos comprimentos de onda relativos (254 nm) (Silva *et al.*, 2013b). Além disto, uma fração de material inorgânico lhe confere um pH levemente alcalino, alta condutividade e dureza. Tais características justificam a necessidade do tratamento antes de qualquer outra forma de despejo em corpos hídricos bem como sua própria disposição nos solos.

5.2. Experimento foto-Fenton-ferrioxalato

A Tabela 5.2 apresenta a nomenclatura e a relativa descrição de cada amostra (0-8), bem como os valores dos parâmetros analisados. A Figura 5.1 apresenta os perfis de degradação do COD e dos compostos aromáticos que absorvem a 254 nm, bem como a concentração de íons ferro dissolvido, a temperatura e o pH da solução durante a reação ferrioxalato.

Tabela 5.2. Caracterização das amostras

Am.	Descrição	pH da solução	Íon ferro (mg L ⁻¹)	H ₂ O ₂ consumido mM	COD (mg C L ⁻¹)	Abs. 254 nm	DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	DBO ₅ (mg O ₂ L ⁻¹)	DBO ₅ /DQO
A0	Bruto	7,86	0	0	774	0,978	2350	420	0,18
A1	pH ajustado	5,95	9,2	0	768	0,96	2540	460	0,18
A2	Adição do ligante	5,8	9	0	997	1,14	2520	480	0,19
A3	Adição de 100 mg de Fe(III) L ⁻¹ e 8 mM de H ₂ O ₂	5,9	93	0	985	1,15	2380	440	0,19
A4	Após consumir 8 mM de H ₂ O ₂	6,02	91	8	677	0,897	2115	400	0,17
A5	Após consumir mais 5 mM de H ₂ O ₂	5,95	85	13	593	0,754	1785	360	0,2
A6	Após consumir mais 12 mM de H ₂ O ₂	6,05	81	25	492	0,644	1521	400	0,27
A7	Após consumir mais 20 mM de H ₂ O ₂	6,1	77	45	447	0,598	1307	420	0,32
A8	Após consumir mais 10 mM de H ₂ O ₂	6,08	70	55	411	0,551	1090	420	0,39

Mesmo que as concentrações de íon ferro adicionadas não estejam totalmente disponíveis para a reação, foram obtidos significativos abatimentos nos valores dos parâmetros analisados mesmo com o pH da solução neutro (6,0) (ver Figura 5.1). Com isto, a eficiência da reação pode ser confirmada também devido ao elevado consumo de H₂O₂, (\approx 55 mM consumido) o qual é requerido para a produção de \cdot OH. Ocorreram reduções de 58,8 % do COD, 52,1% da Abs 254nm, 25% da DBO₅ e 57,1% da DQO. Percebe-se que no momento da adição do ácido orgânico houve um significativo aumento nas concentrações de C, uma vez que o ácido oxálico apresenta uma série de C em sua estrutura molecular. No entanto, é um ácido fotossensível, facilmente fotod Descarboxilado, não resultando em incrementos na eficiência do processo. Contudo, amostras foram retiradas em diferentes momentos da reação (A0-A8) e submetidas aos bioensaios.

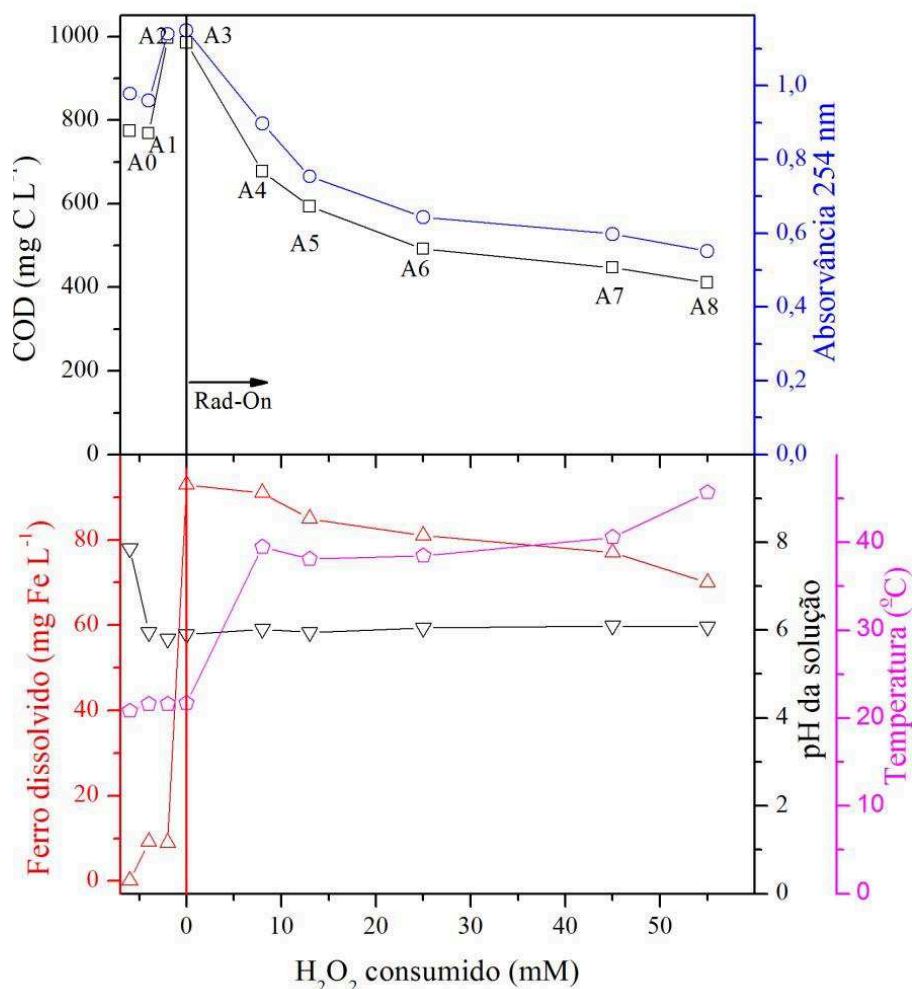


Figura 5.1. Perfis de degradação do COD e dos compostos aromáticos, bem como a concentração de íons ferro dissolvido, a temperatura e o pH da solução durante a reação ferrioxalato.

5.3. Avaliação da fitotoxicidade aguda

A fitotoxicidade foi avaliada através da germinação e do crescimento da radícula e do hipocótilo do organismo teste, *Lactuca sativa*. Os resultados obtidos foram expressos como: Índice de Germinação (IG), Germinação Relativa (GR), Germinação Absoluta (GA), Crescimento e Inibição Relativa a Radícula (CRR, IRR, respectivamente) e Crescimento e Inibição Relativo ao Hipocótilo (CRH, IRH, respectivamente). Todos os dados obtidos foram calculados a partir de medições (Apêndice 1) e as respostas apresentadas em %. Ainda, foi obtido o valor da CL₅₀, isto é, a concentração que causa a morte de 50% dos organismos testes.

5.3.1. Resultados de Germinação: IG, GR, GA.

Os resultados do IG obtidos através das médias de germinação nas placas são apresentados na Figura 5.2.

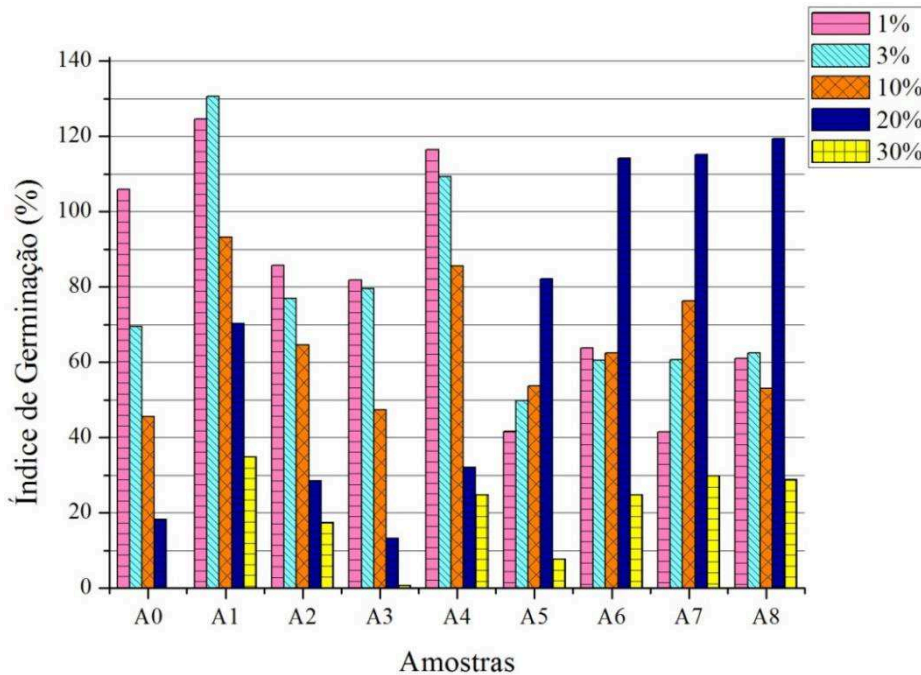


Figura 5.2. Gráfico do Índice de Germinação.

Através do índice de germinação observa-se baixos valores de germinação na amostra A0 (LAS bruto) principalmente nas altas concentrações, onde o IG de 0,07% foi observado na concentração de 30%. Percebe-se que a partir do momento em que se inicia o processo de oxidação (amostra A4) ocorre uma melhora no índice de germinação principalmente na concentração de 20%, o que demonstra uma redução da toxicidade quanto à germinação. Como a reação ferrioxalato apresentou certa eficiência de remoção dos parâmetros analisados, a qualidade do efluente tratado pode ser confirmada pela melhoria dos índices de germinação. Em todos os ensaios não houve germinação na concentração de 100% da amostra, comprovando a elevada toxicidade ao organismo testado do LAS não diluído mesmo após tratamento.

Quanto aos resultados de germinação absoluta, estes são apresentados na Figura 5.3.

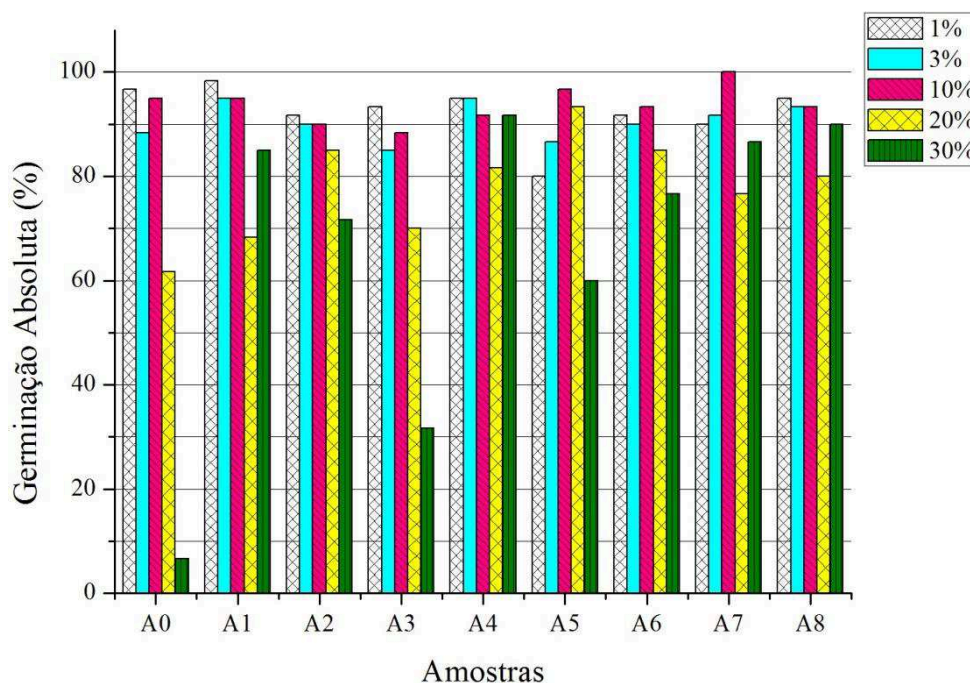


Figura 5.3. Gráfico da Germinação Absoluta.

Todas as amostras apresentam valores de GA maior que 60% nas diferentes concentrações, exceto as amostras A0 e A3 e apenas a A7 apresenta GA de 100%, ou seja, todas as sementes expostas germinaram. Observa-se que não ocorreu germinação na concentração de 100% em nenhuma das amostras, assim como no IG o LAS bruto apresentou os piores resultados. A concentração de 30% apresenta as maiores variações no decorrer das amostras, tendo um valor de 6,7% na amostra A0 e alcançando 90% na amostra A8, demonstrando desta forma, a diminuição da toxicidade durante a reação ferrioxalato.

Os resultados da Germinação Relativa, que apresenta a razão entre o número de sementes que germinaram na amostra pelo número de sementes que germinaram no controle, estão contidos na Figura 5.4.

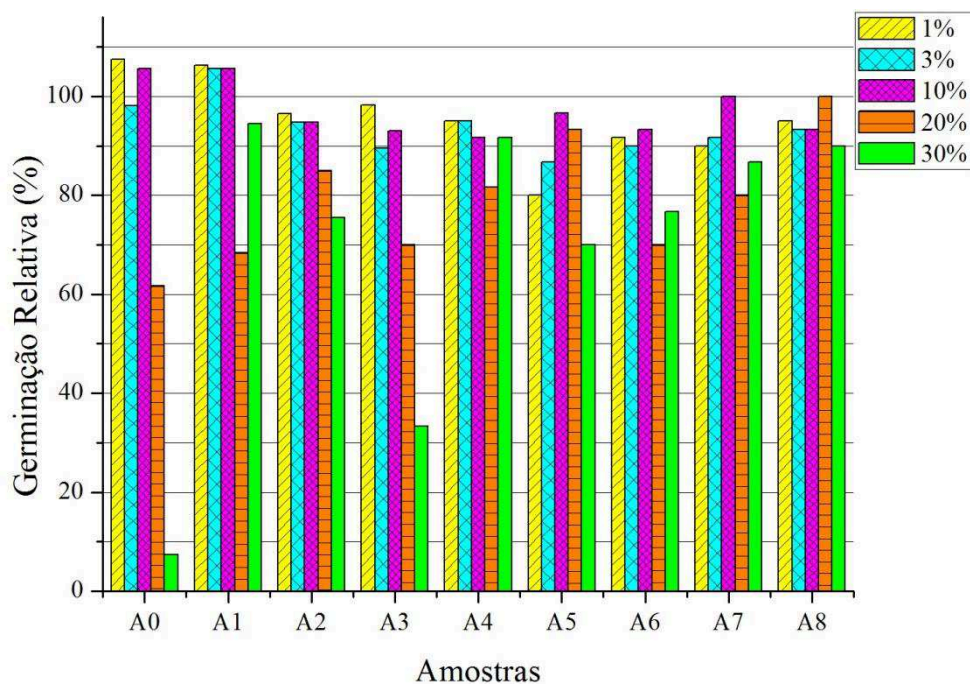


Figura 5.4. Gráfico da germinação relativa.

Pode-se observar que a amostra A8 apresenta valores próximos nas diferentes concentrações, sendo o menor valor igual a 93% e o maior igual a 100% na diluição de 20% o que não foi observado nas outras amostras. As variações dos valores de GR nas amostras (maior valor subtraído do menor valor) chegam a aproximadamente 100%, 38%, 21%, 65%, 13%, 27%, 23%, 20% e 10% para as amostras A0-A8, reforçando os resultados de IG que apresentam menos toxicidade nas últimas amostras do tratamento.

5.3.2. Avaliação do Crescimento Relativo à Radícula e ao Hipocótilo

Os resultados de crescimento relativo à radícula são apresentados na Figura 5.5 e os resultados do crescimento relativo ao hipocótilo são apresentados na Figura 5.6.

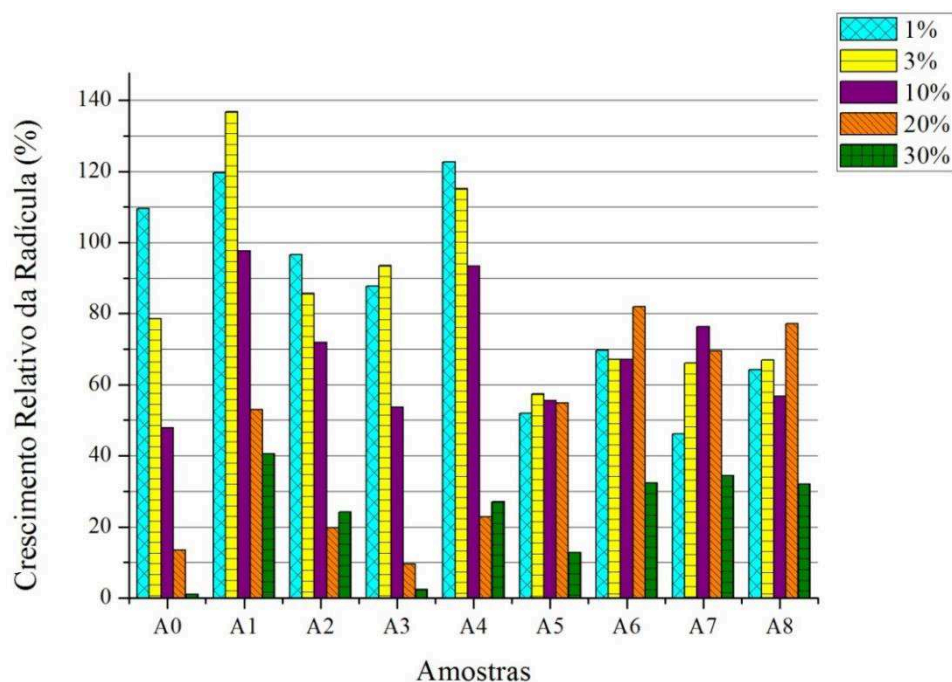


Figura 5.5. Gráfico do Crescimento Relativo à Radícula

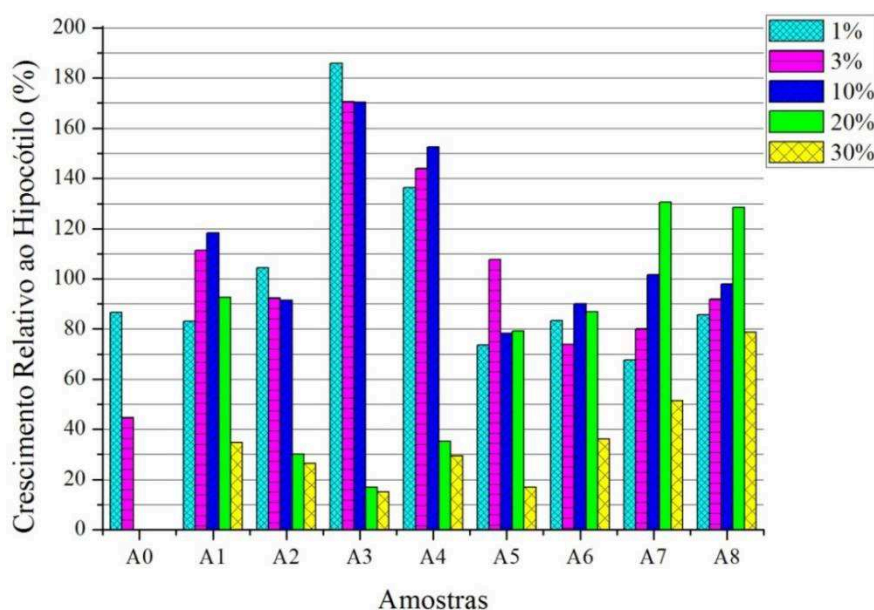


Figura 5.6. Gráfico do Crescimento Relativo ao Hipocótilo.

O CRH apresenta, de forma geral, melhores resultados quando comparado ao CRR, ou seja, a toxicidade apresenta-se menor em relação ao hipocótilo, demonstrando uma maior sensibilidade da radícula aos contaminantes tóxicos.

Destacam-se no CRH e no CRR valores acima de 100%, isto é, as sementes na amostra cresceram mais do que no controle, isso pode ocorrer porque alguns compostos em baixas concentrações tornam-se micronutrientes vegetais, no entanto, de acordo com Sobrero

e Ronco (2004) não se deve considerar como um efeito favorável ou estimulante, fazendo-se necessárias avaliações com outros organismos testes.

No mais, verifica-se que o LAS bruto (amostra A0) no CRH apresenta os resultados mais críticos uma vez que não há crescimento do hipocótilo nas diluições de 10%, 20% e 30% o que evidencia a elevada toxicidade do LAS bruto.

Ressalta-se ainda no CRR o comportamento semelhante nas amostras A0 e A3 na concentração de 30%, ou seja, ocorreu um baixo crescimento da radícula. Tal semelhança pode ter ocorrido devido à complexação do ácido orgânico com o ferro, que é adicionado na amostra A3, formando o ferrioxalato, não estando o ácido oxálico mais disponível no meio. Outro possível fator seria a elevada concentração de ferro, adicionado na amostra A3, uma vez que apesar de o ferro ser um micronutriente essencial para o crescimento de plantas, quando em excesso, ele pode causar estresse oxidativo através da indução da produção de oxigênio fazendo com que a planta tenha uma redução no crescimento (Jucoski, 2011). A Figura 5.7 apresenta um gráfico do CRH e a concentração de íons ferro dissolvido presente nas amostras.

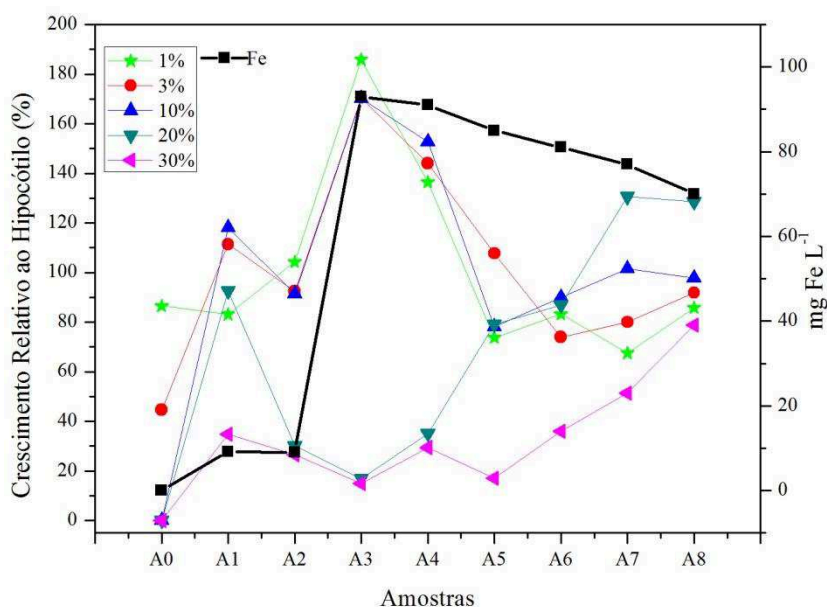


Figura 5.7. Gráfico do CRH e concentração de íon ferro dissolvido nas amostras.

Nas concentrações de 1%, 3% e 10%, os maiores valores de CRH se apresentam na amostra que tem maior concentração de íon ferro dissolvido, o que significa que o ferro em baixas concentrações pode ser utilizado como nutriente. Além disso, nas maiores concentrações das amostras (20% e 30%), ocorre o inverso, com exceção do LAS bruto

(Amostra 0), os menores valores de CRH ocorrem na amostra A3, o que também pode estar ligado à maior concentração de ferro interferindo no crescimento (Jucoski, 2011). No entanto, não se pode atribuir tais resultados exclusivamente à concentração de íon ferro dissolvido, uma vez que não se pode avaliar somente um fator, mas sim a combinação deles (Sobrero e Ronco, 2004).

A redução da toxicidade no decorrer do tratamento do lixiviado pode ser observada através da Figura 5.8, que apresenta gráficos do CRH nas diferentes concentrações das amostras com a concentração de carbono orgânico dissolvido (COD), e a Figura 5.9, que apresenta gráficos do CRH nas diferentes concentrações das amostras com os valores da Abs em 254 nm.

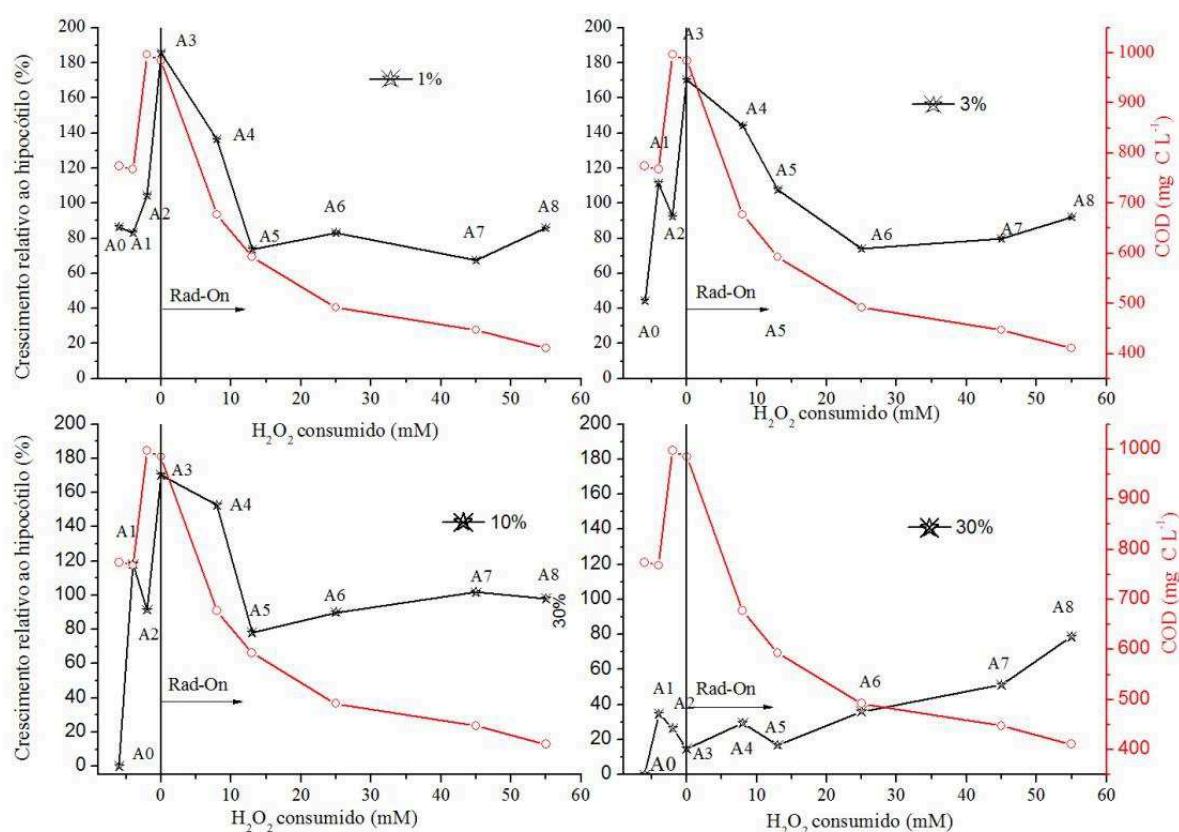


Figura 5.8. Gráfico do CRH em relação a redução do COD.

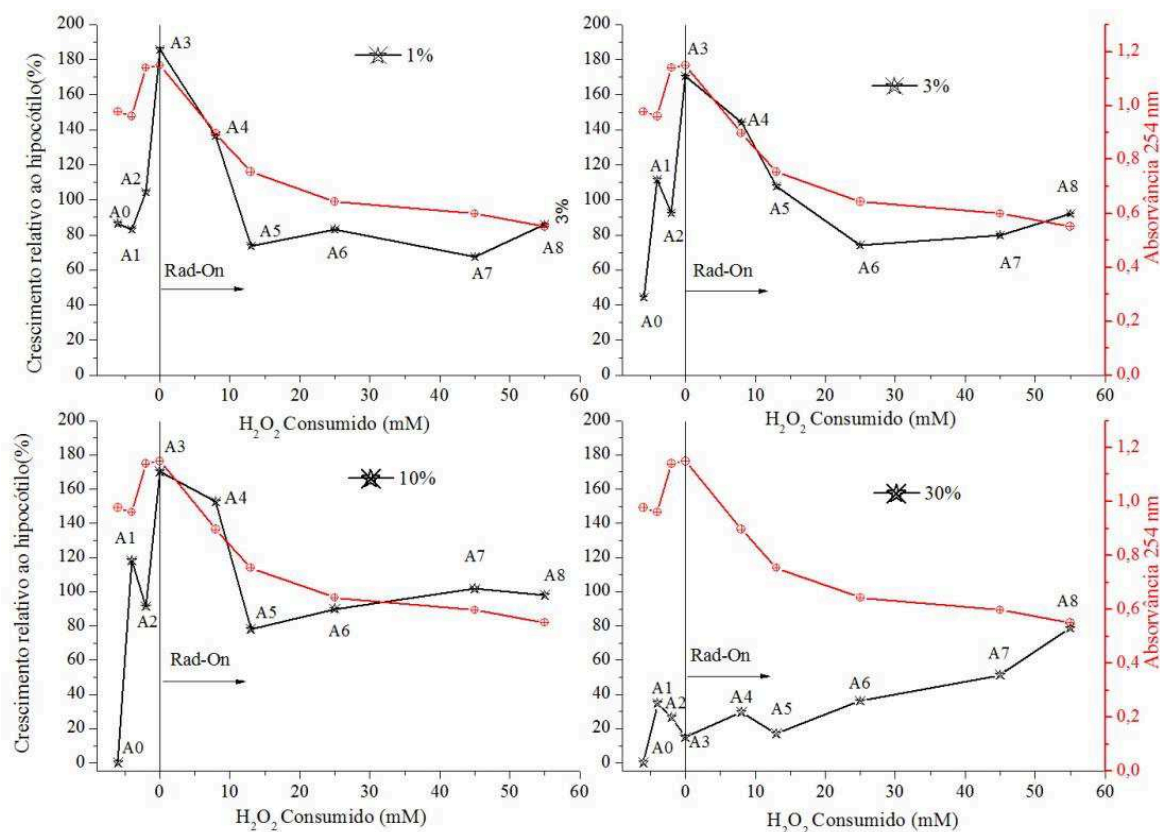


Figura 5.9. Gráfico do CRH em relação a absorvância a 254 nm.

Verifica-se que na concentração de 30% da amostra os valores de crescimento aumentam a partir do momento em que começa a reação enquanto que os valores de COD diminuem. O valor do crescimento chega a 100% e 80% nas concentrações de 10% e 30%, respectivamente. Percebe-se que há uma melhora no crescimento do hypocótilo nas baixas concentrações da amostra (1% e 3%) quando o ácido orgânico é adicionado e na medida em que o ácido é consumido pela reação (a partir da amostra A4) a porcentagem de crescimento decresce, no entanto o crescimento na última amostra do tratamento é melhor do que no lixiviado bruto. Ainda, alguns compostos em baixas concentrações podem tornar-se micronutrientes vegetais, não devendo ser considerado como um efeito favorável/ estimulante (Sobrero e Ronco, 2004).

Segundo Nascentes *et al.* (2015) a Absorbância em 254 nm é utilizada como um indicador da presença de ligações duplas e triplas características de compostos aromáticos, sua diminuição está relacionada com a ruptura dessas ligações e a degradação desses compostos. A partir dos resultados apresentados na Figura 5.9 pode-se identificar que na medida em que a absorvância a 254 nm decresce, indicando a degradação de compostos aromáticos tóxicos, o CRH aumenta no decorrer das amostras na concentração de 30%,

indicando a diminuição da toxicidade, o mesmo não ocorre nas baixas concentrações de amostra (1% e 3%).

5.3.3. Inibição do Crescimento Relativo à Radícula e ao Hipocótilo

Os resultados da inibição do crescimento relativo à radícula são apresentados na Figura 5.10. Já os resultados de inibição do crescimento relativo ao hipocótilo são apresentados na Figura 5.11.

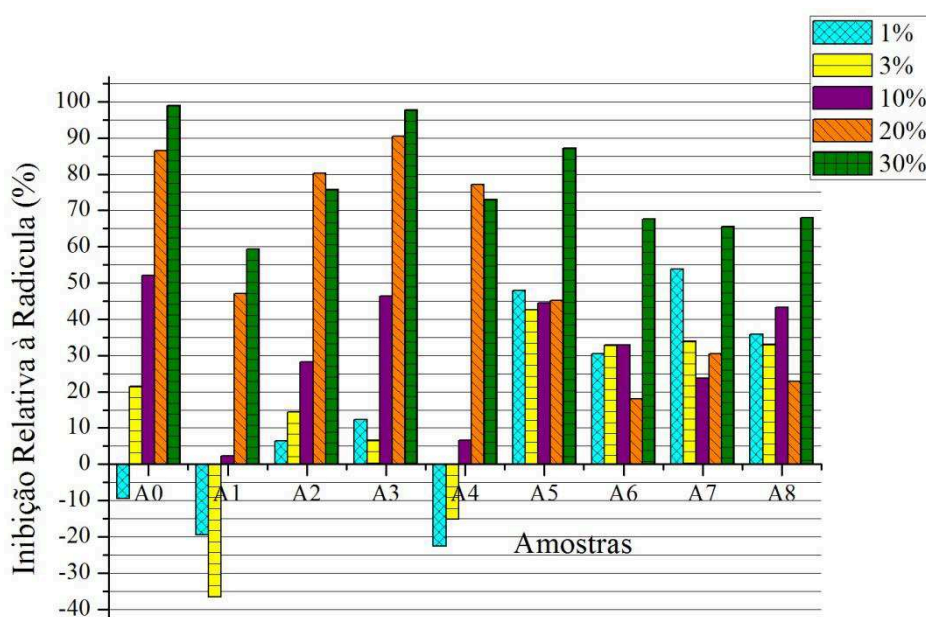


Figura 5.10. Gráfico da Inibição do Crescimento Relativo a Radícula.

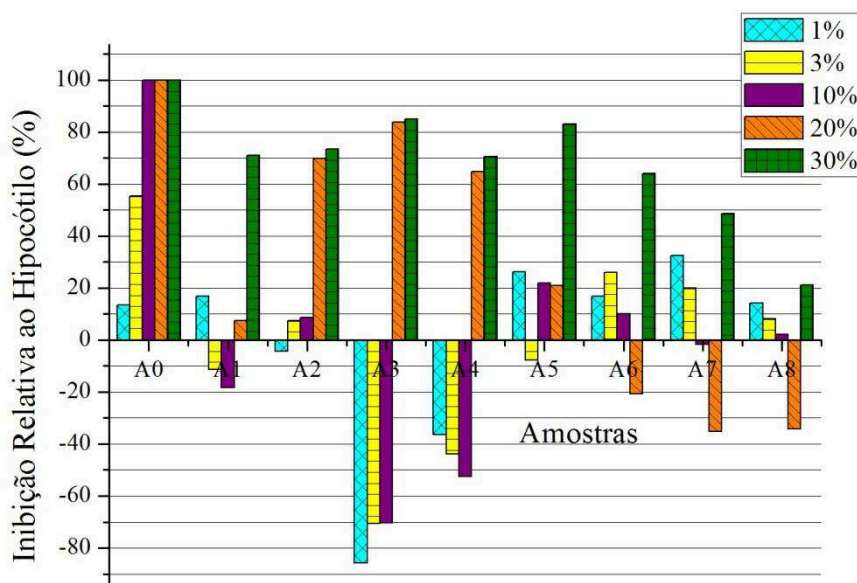


Figura 5.11. Gráfico da Inibição do Crescimento Relativo ao Hipocótilo.

As Figuras 5.10 e 5.11 demonstram ainda melhor a diminuição da toxicidade a partir do início da oxidação (Amostra A4). Observa-se uma inibição negativa, ou seja, as sementes que germinaram nas amostras cresceram mais do que no controle, isso ocorre em especial nas menores concentrações das amostras devido a maior diluição dos compostos tóxicos. Ainda, o CRH à concentração de 20% apresenta os melhores resultados, tendo uma inibição de 100% na amostra A0 e chegando a um crescimento maior do que o do controle na amostra A8.

5.3.4. Análise da CL_{50}

Todos os dados obtidos foram analisados utilizando o software Trimmer Spearman-Kärber Method[®], e as respostas da Concentração Letal para 50% dos organismos testes estão apresentados na Tabela 5.3. Sendo considerado como morte a não germinação das sementes.

Tabela 5.3. Respostas da Concentração Letal para 50% dos organismos testes.

Amostra	CL_{50}	Intervalo de Confiança (95%)
A0	18,14	(15;20)
A1	37,67	(32;43)
A2	39,29	(32;47)
A3	21,86	(17;26)
A4	41,93	(37;47)
A5	37,53	(32;43)
A6	43,64	(38;48)
A7	43,92	(37;51)

Os valores da CL_{50} vêm ao encontro dos demais resultados e demonstram ainda melhor a redução da toxicidade do LAS no decorrer da reação ferrioxalato. Antes do tratamento uma concentração de 18% do lixiviado bruto já era suficiente para causar a morte de 50% dos organismos testados, após o tratamento essa concentração aumentou para aproximadamente 44%, confirmando a redução da toxicidade. A Figura 5.12 apresenta a relação entre a CL_{50} e os parâmetros avaliados.

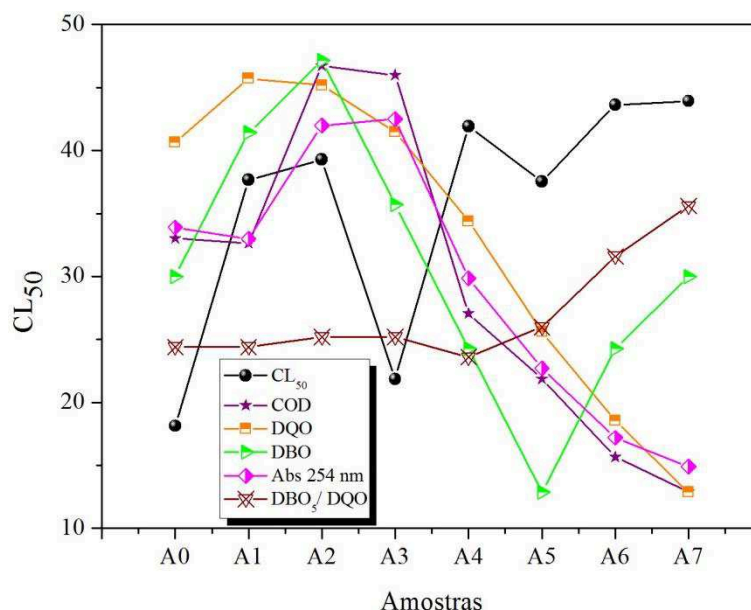


Figura 5.12. Respostas da Concentração Letal para 50% dos organismos testes em relação a redução do COD, DQO, DBO₅, DBO₅/DQO e Absorvância em 254 nm.

A redução dos parâmetros avaliados em relação ao aumento da CL₅₀ nas amostras do tratamento (ver Figura 5.12) deixa evidente que a reação ferrioxalato além de reduzir a carga potencialmente poluidora consegue minimizar os efeitos tóxicos ao organismo teste, aumentando em cerca de 60% a CL₅₀. Isto significa que é necessária uma maior concentração do lixiviado após o tratamento para causar a morte de 50% dos organismos testados, o que com o lixiviado bruto acontece com uma menor concentração. Observe-se que o valor da CL₅₀ da amostra correspondente a adição do ferro (Amostra A3) sofre um decréscimo, isto pode estar ocorrendo devido a complexação do ligante orgânico (ácido oxálico) com o ferro deixando de estar disponível no meio. Entretanto, quando a reação inicia (a partir da amostra A4) os resultados de CL₅₀ aumentam e na amostra A7 alcançam um valor 60% maior do que no LAS bruto. Ainda, é possível perceber que quanto maiores os valores da CL₅₀, melhor a relação DBO₅/DQO (mais biodegradável), podendo-se aferir que a redução da toxicidade pode prover informações acerca da biodegradabilidade das amostras em estudo.

5.4. Avaliação da biodegradabilidade

Todos os dados obtidos nos ensaios de Zahn-Wellens são apresentados no Apêndice 2 e as respostas expressas em D_t . Além do teste Zahn-Wellens a biodegradabilidade dos efluentes pode ser indicada através da razão DBO₅/DQO que auxilia na escolha do tratamento

a ser empregado, sendo que diversos estudos têm utilizado tal relação (Von Sperling, 2005; Moraes, 2005; Manenti, 2013).

A Figura 5.13 apresenta a DBO e a DQO presente nas amostras, bem como a razão entre elas indicando o potencial de biodegradação (DBO_5/DQO) do LAS.

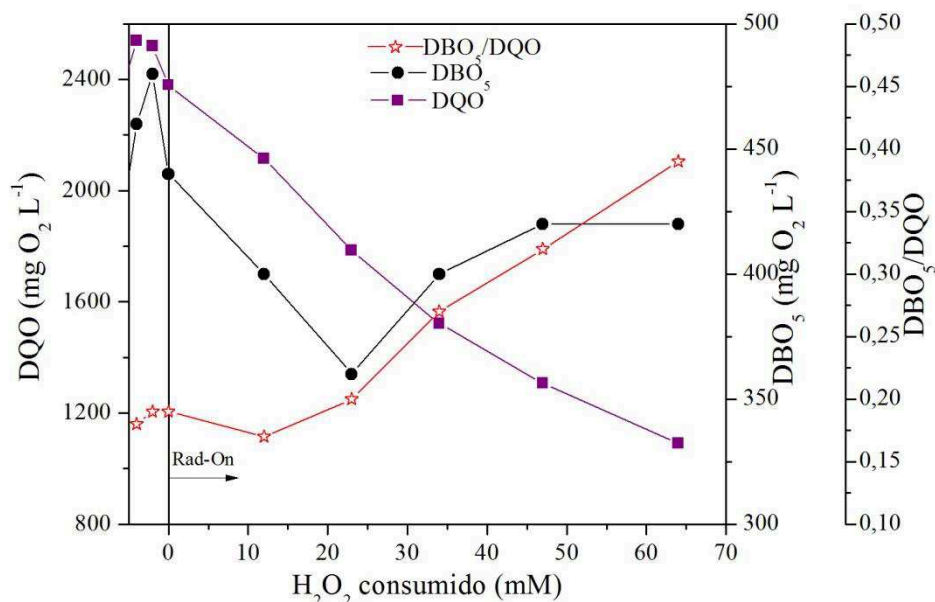


Figura 5.13. Perfis de redução da DBO₅, da DQO e a relação DBO₅/DQO.

Por meio da análise da Figura 5.13 observa-se o aumento da razão DBO_5/DQO no decorrer do tratamento, saindo de 0,18 na amostra A0 (LAS bruto) o que indica que não é biodegradável e chega até cerca de 0,4 na amostra A8 do tratamento, o que indica uma fração de biodegradabilidade elevada, ou seja através da reação ferrioxalato é possível aumentar a biodegradabilidade do LAS, tornando-o passível de oxidação biológica. Os resultados dos testes Zahn-Wellens confirmam isso. Para a realização do teste Zahn-Wellens foram utilizadas as amostras A0, A3, A4, A6 e A7, e os resultados do teste são apresentados na Figura 5.14.

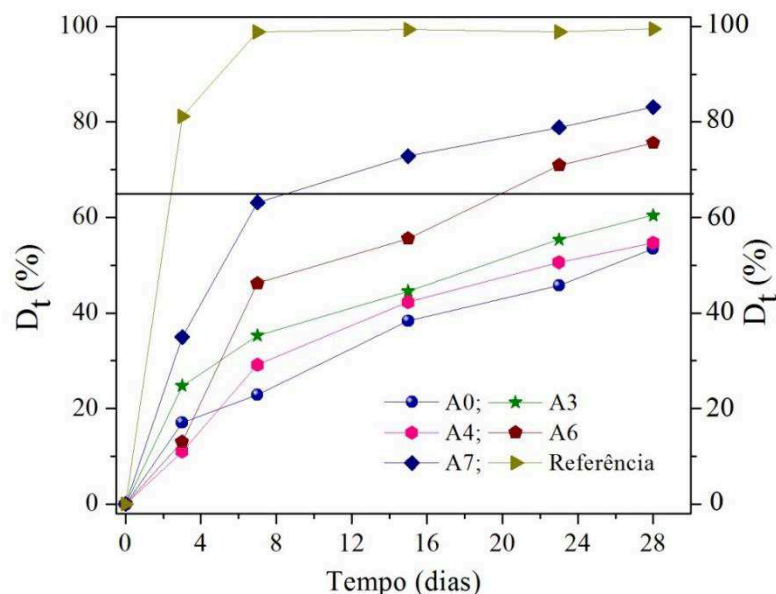


Figura 5.14. Biodegradabilidade obtida pelo teste Zahn-Wellens.

O teste Zahn-Wellens confirma o que a relação DBO_5/DQO indica. As amostras A6 e A7 apresentam-se potencialmente biodegradáveis, uma vez que atingem valores superiores a 70% de biodegradabilidade durante os 28 dias do ensaio (OECD, 1992). As demais amostras, no entanto, são parcialmente biodegradáveis. O LAS bruto apresenta os menores valores de biodegradação durante o período de 28 dias, evidenciando a necessidade de um pré-tratamento antes de entrar em um sistema biológico. A amostra A7, correspondente a 45 mM de H_2O_2 consumido, atinge 70% de biodegradação antes do décimo quinto dia de teste, enquanto que amostra A0 ultrapassa apenas os 30% de biodegradação no mesmo período, o que retrata a potencialidade da reação ferrioxalato no aumento da biodegradabilidade do LAS.

Contudo, além de reduzir satisfatoriamente a toxicidade do LAS, a reação ferrioxalato consegue, através da oxidação dos poluentes, aumentar a sua biodegradabilidade tornando-o passível de oxidação biológica já a partir da amostra A6 (correspondente a 25 mM de H_2O_2 consumido) dessa forma, surgem inúmeras possibilidades de integração de processos. Uma alternativa para o tratamento integrado que visa à redução de custos e a eficiência do processo seria um sistema composto por oxidação biológica + oxidação química + oxidação biológica (Silva *et al.*, 2013a), visto que o lixiviado bruto apresenta uma parcela elevada de compostos orgânicos biodegradáveis, comprovada pelo resultado do teste Zahn-Wellens (cerca de 50% de biodegradação em 28 dias), que poderiam ser oxidados inicialmente por um processo biológico, deixando a cargo da oxidação química apenas a fragmentação dos recalcitrantes ao primeiro estágio, transformando-os em biodegradáveis para depois voltar a um novo sistema biológico.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os dados obtidos mostraram que a oxidação química proporcionada pela reação ferrioxalato pode melhorar as condições de toxicidade e biodegradabilidade de um lixiviado de aterro sanitário. Utilizando concentrações de 100 mg de Fe L⁻¹ (1:3, Fe:ácido oxálico) foi possível gerar complexos ferricarboxílicos de ferrioxalato mais estáveis, fotossensíveis e solúveis, proporcionando obter elevadas oxidações do LAS a um pH neutro (6,0). Nestas condições, foram obtidas respostas significativas de redução dos compostos orgânicos tais como a DQO, DBO, COD e absorvância a 254 nm, bem como melhoria nas condições de biodegradabilidade (DBO₅/DQO) confirmadas pelos ensaios de biodegradabilidade, tendo-se as seguintes conclusões:

- O LAS bruto apresenta uma porcentagem de biodegradação de cerca de 54% após os 28 dias do teste Zahn-Wellens, ou seja, é parcialmente biodegradável e necessita de outro processo para a quebra dos compostos recalcitrantes.
- A biodegradabilidade do LAS após o tratamento pela reação ferrioxalato obteve um aumento de 53,8% da relação DB₅O/DQO, e 83,13% de biodegradação da amostra A7(correspondente a 55 mM de H₂O₂ consumido) durante os 28 dias do teste Zahn-Wellens, comprovando a capacidade do tratamento em tornar o LAS biodegradável.
- A redução da toxicidade pelo tratamento, comprovada pelo aumento de quase 60% na concentração letal que causa a morte de 50% dos organismos testados, além da diminuição os valores de inibição do crescimento da radícula e do hipocótilo em cerca de 80% na maior concentração de amostra (30%), demonstra que a reação ferrioxalato não gerou compostos tóxicos durante o tratamento e por meio da oxidação química dos poluentes conseguiu reduzir a toxicidade dos LAS.

Por final, de acordo com os resultados apresentados, sugere-se um tratamento integrado para o LAS composto por um sistema biológico, que degradará a parcela orgânica passível de oxidação biológica, seguido pela reação ferrioxalato que degradará a parcela de recalcitrantes não passíveis de oxidação biológica tornando o efluente biodegradável para por fim entrar em outro sistema biológico. Ainda, sugere-se que sejam realizados testes toxicológicos com organismos-teste de diferentes níveis tróficos a fim de caracterizar melhor o efluente em estudo quanto à sua toxicidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOOD, A.R. ; BAOA, J.; DUA, J.; ZHENG, D.; LUO,Y. Non-biodegradable landfill leachate treatment by combined process of agitation, coagulation, SBR and filtration. **Waste Management**, n 33, p. 439-447, 2014.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil- 2013**. São Paulo: Abrelpe, 2013.

AHMED, F.N.; LAN, C.Q. Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. **Desalination**, v.287, p.41-54, 2012.

AMOR,C.; TORRES-SOCÍAS,E.; PERESA, J.A.; MALDONADO, M.I.; OLLERB, I.; MALATO, S.; LUCAS, M.S.. Mature landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 286, p.261–268, 2015.

APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ª Ed. Washington – DC: APHA, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.

BADAWY, M. I.; WAHAAB, R. A.; EL-KALLINY, A. S. Fenton-biological treatment processes for the removal of some pharmaceuticals from industrial wastewater. **Journal of Hazardous Materials**. v.167, p.567-574, 2009.

BORBA, F. H.; MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; MANENTI, D. R.; NOGUEIRA, D.; BERGAMASCO, R. Avaliação da remoção dos poluentes do efluente de curtume tratado pelos processos Eletro-Fenton e foto-Fenton. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** – v.31, p.44-53, 2014.

BORBA, F.H.; MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R.; MANENTI, D.R. BERGAMASCO, R.; MORA, N. D. Toxicity assessment of tannery effluent treated by an optimized photo-Fenton process. **Environmental Technology**, v.34, p.653–661, 2013.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), **Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005 Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, p.83, 16 de maio de 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, p.58-63, 18 de março de 2005.

BRASIL. Lei nº 12305 de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Publicação DOU, 03 de agosto de 2010.

BROWN, K.; GHOSHDASTIDAR, A.J.; HANMORE, J.; FRAZEE, J.; TONGA, A.Z. Membrane bioreactor technology: A novel approach to the treatment of compost leachate. **Waste Management**, v. 33, n. 11, p.2188-2194, 2013.

CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 17, n. 2, p.171-180, 2012.

CASTRO, F. J. **Avaliação Ecotoxicologica dos Percolados das Colunas de Cinza de Carvão e de Solos Com Cinza de Carvão Utilizando *Lactuca Sativa* E *Daphnia Similis* como Organismo Teste.** 2013. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Nuclear, Ipen, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CASTRO, F. J.; CAMARGO, I.M.C.; MATTIOLO, S.R. Avaliação da fitotoxicidade dos percolados das colunas de cinza de carvão e de solo com cinza de carvão. **In: Congresso Brasileiro De Ecotoxicologia**, 2012, Porto de Galinhas. Anais. Porto de Galinhas: Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia, p.104-104, 2012.

CAVALCANTI, A. S. **Estudo da aplicação do foto-Fenton solar como tratamento de chorume proveniente de aterro sanitário de Cachoeira Paulista-SP.** 2013. 169 f. Dissertação (Programa de pós-graduação em engenharia química). Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena-SP. 2013.

CAVALLET, L.E.; CARVALHO, S.G.; FORTES NETO, P. Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, p.229-238, 2013.

CHEMLAL, R.; AZZOUZA, L.; KERNANIA, R.; ABDIA, N.; LOUNICIA, H.; GRIBA, H.; MAMERIA, N.; DROUCHE, N. Combination of advanced oxidation and biological processes for the landfill leachate treatment. **Ecological Engineering**, v 73, p. 281-289, 2014.

COSTA, C. R.; OLIVI, C.; BOTTA, C.M.R.; ESPINDOLA, E.L.G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p.1820-1830, 2008.

COSTA, M. P. D. ; CAVALCANTTI, A. S.; PANCOTTO, J. V. S.; GUIMARÃES, O. L. C.; IZÁRIO FILHO, H. J. Tratamento de chorume por combinação de processos oxidativos: Catálise heterogênea com TiO₂ versus H₂O₂, ambos fotoirradiado por luz solar. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 7, n. 1, 2011.

CUNHA, B. M. **Avaliação ecotoxiologica de distintos tipos de efluentes mediante ensaio de toxicidade aguda utilizando *Artemia salina* e *Lactuca sativa*.** 2011. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

DAMATO, M.; BARBIERI, E. Determinação da toxicidade aguda de cloreto de amônia para uma espécie de peixe (*Hyphessobrycon callistus*) indicadora regional. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 35, n. 4, p.401-407, 2011.

DOUMICA, L.I; SOARES, P.A; AYUDEB, M.A.; CASSANELLOC, M.; BOAVENTURA R.A.R, VÍTOR J.P. VILAR, V.P.P. Enhancement of a solar photo-Fenton reaction by using ferrioxalate complexes for the treatment of a synthetic cotton-textile dyeing wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v.277, p.86-96, 2015.

EL-SALAM.; M.M. A.; ABU-ZUID, G. I. Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt. **Journal of Advanced Research**. 2014

FERRAZ, F.M. ; POVINELLI, J.; POZZIA, E.; VIEIRAB, E.M; TROFINO, J.C. Co-treatment of landfill leachate and domestic wastewater using a submerged aerobic biofilter. **Journal of Environmental Management**, v. 141, p. 9-15, 2014.

FERREIRA, A.J.GIORDANO,G.; RITTER,E.; ROSSO, T.C.A.; CAMPOS, J.C.; LIMA,P.Z.M. Uma revisão das técnicas de tratamento de Chorume e a realidade o Estado do Rio de Janeiro. In: **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, s.l. p. 1-9, 2012.

GOMES, L. M. **Estudo da Otimização do Processo Fenton para o Descoramento de Corantes Azo**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

HAMILTON, M.A.; RUSSO, R.C.; THURSTON, RV. Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. **Environ Sci Technol**, v. 11, p.714–719, 1977.

HAN, D.; TONG, X.; CURRELL, M.J.; CAO, G.; JIN, M.; TONG,C. Evaluation of the impact of an uncontrolled landfill on surrounding groundwater quality, Zhoukou, China. **Journal of Geochemical Exploration**, n.136, p.24-39, 2014.

HUANG, H; CHEN,Y.; JIANG, Y.; DING, L. Treatment of swine wastewater combined with MgO-saponification wastewater by struvite precipitation technology. **Chemical Engineering Journal**. 2014

IOANNOU, L.A.; PUMA, G.LI; FATTA-KASSINOS, D. Treatment of winery wastewater by physicochemical, biological and advanced processes: A review. **Journal of Hazardous Materials**. 2014.

(1988). **ISO 6332:1988**, Water quality - Determination of iron - Spectrometric method using 1,10 phenanthroline.

JUCOSKI, G.O. **Toxicidade de ferro e metabolismo antioxidativo em *Eugenia uniflora* L.** Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

LIANG, C.Z; SUN,S.P; LI,F.Y.; ONG,Y.K.; CHUNG, T.S. Treatment of highly concentrated wastewater containing multiple synthetic Dyes by a combined process of coagulation/flocculation and nanofiltration. **Journal of Membrane Science**. 2014.

MACHADO, C. Z. **Avaliação da biodegradabilidade aeróbia de lixiviado de um aterro sanitário**. 2013. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MALATO, S.; BLANCO, J.; VIDAL, A.; RICHTER, C. Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale an overview. **Applied Catalysis B: Environmental**, v.37, p.1–15, 2002.

MALATO, S.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; MALDONADO, M.I.; BLANCO, J.; GERNJAK, W. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. **Catalisys Today**. v.147, p.1-59, 2009.

MANENTI, D.R. *et al.* Otimização do processo foto-fenton utilizando irradiação artificial na degradação do efluente têxtil sintético. **Engevista** V. 12, n. 1. p. 22-32, junho 2010.

MANENTI, D. R. **Tratamento de efluente têxtil utilizando os processos eletrofloculação, foto-fenton e biológico integrados**. 2013. 252 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

MANENTI, D. R.; MÓDENES, A. N.; SOARES, P.A; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R; BOAVENTURA, R.A.R; BERGAMASCO, R.; VILAR, V.J.P . Assessment of a multistage system based on electrocoagulation, solar photo-Fenton and biological oxidation processes for real textile wastewater treatment, **Chemical Engineering Journal**. 2014

MANENTI, D. R.; SOARES, P.A; MÓDENES, A,N; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R; BOAVENTURA, R.A.R; BERGAMASCO, R.; VILAR, V.J.P Insights into solar photo-Fenton process using iron(III)–organic ligand complexes applied to real textile wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**, v.266, p.203-2012, 2015a.

MANENTI, D.R.; SOARES, P.A.; SILVA, T.C.V.; MÓDENES, A.N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R.; BERGAMASCO, R.; BOAVENTURA, R.A.R.; VILAR, V.J.P. Performance evaluation of different solar advanced oxidation processes applied to the treatment of a real textile dyeing wastewater. **Environmental Science Pollution Research**, v.22, p.833-845, 2015b.

MÓNEDES, A.N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R; MANENTI, D.R; BORBA, F.H; PALÁCIO, S.M.; COLOMBO, A. Performance evaluation of a photo-Fenton process applied to pollutant removal from textile effluents in a batch system. **Journal of Environmental Management**. v. 104, p. 1-8, 2012.

MONTEAGUDO, J. M.; DURÁN, A.; CORRAL, J. M.; CARNICER, A.; FRADES, J. M.; ALONSO, M. A. Ferrioxalate-induced solar photo-Fenton system for the treatment of winery wastewaters. **Chemical Engineering Journal**. v. 181-182, p. 281-288, 2012.

MONTEAGUDO, J.M.; DURÁN, A.; AGUIRRE, M.; SAN MARTIN, I. Photodegradation of Reactive Blue 4 solutions under ferrioxalate-assisted UV/solar photo-Fenton system with continuous addition of H₂O₂ and air injection. **Chemical Engineering Journal**. v. 162, p. 702-709, 2010.

MORAIS, J. L. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário.** 2005. 227p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.

MORAVIA, W. G. **Estudos de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas.** 2007. 179 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

NASCENTES, A.L.; NASCIMENTO, M.M.P.; BRASIL, F.C.; CAMPOS, J.C.; FERREIRA, J.A. Combined treatment of landfill leachate and domestic sewage - Operational and microbiological aspects. **Revista Teccen.** v.6, p.01-32, 2015.

NOGUEIRA, R. F. P.; OLIVEIRA, M. C.; PARTERLINI, W. C. Simple and fast spectrophotometric determination of H₂O₂ in photo-Fenton reactions using metavanadate. **Talanta**, v. 66, p.86-91, 2005.

NOGUEIRA, R. F. P.; TROVÓ, A.G.; SILVA, M.R.A.; VILLA, R.D.; OLIVEIRA, M.C. Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton. **Química Nova**, São Paulo - SP, v. 30, n. 2, p.400-408, 2007.

NUNES, M. E. T. **Avaliação dos efeitos de agrotóxicos sobre a fauna edáfica por meio de ensaios ecotoxicológicos com Eisenia Andrei (Annelida, Oligochata) e com comunidade natural do solo.** 2010. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

OECD. **Test No 302B: Inherent Biodegradability: Zahn–Wellens/EMPA** Test in: OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. OECD Publishing, p.8, 1992.

OLIVEIRA, D. M.; LEÃO, M. M. D.. **Avaliação da biodegradabilidade de efluentes têxteis do beneficiamento secundário de malhas de poliéster tratados com reagente de Fenton.** Química Nova, v. 32, n. 9, p.2282-2286, 2009.

OLIVEIRA, J. M.; AREND, C.O.; GERBER, W.D. **Toxicidade em efluentes industriais.** Porto Alegre: Senai RS, 2011.

OLLER, I.; MALATO, S.; SANCHEZ-PEREZ, J.A. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination-A review. **Science of the Total Environment**, v.409, p.4141-4166, 2011.

PINTOR, A. M. A. **Tratamento de Águas Residuais da Indústria Corticeira por Processos Combinados Foto-Fenton Solar/Oxidação Biológica.** 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Universidade do Porto, Porto, 2010.

POURAN, S.R. ; AZIZ, A.R.A ; DAUD, W.M.A.W. Review on the main advances in photo-Fenton oxidation system for recalcitrant wastewaters. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v.21, p.53-69, 2015.

PRATO-GARCIA, D.; VASQYES-MEDRANO, R.; HERNANDEZ-ESPARZA, M. Solar photoassisted advanced oxidation of synthetic phenolic wastewaters using ferrioxalate complexes. **Solar Energy**. v.83, p.306-315, 2009.

RECILLAS, S. *et al.* Use of CeO₂, TiO₂ and Fe₃O₄ nanoparticles for the removal of lead from water Toxicity of nanoparticles and derived compounds. **Desalination**, v.277, p.213-220, 2011.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. Conselho Estadual do meio Ambiente (CONSEMA) **Resolução do CONSEMA nº 128/2006**. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. Conselho Estadual do meio Ambiente (CONSEMA) **Resolução do CONSEMA nº 129/2006**. Dispõe sobre a definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul.

RODRIGUES, L. C.A.; BARBOSA, S.; PAZIN, M.; MASELLI, B.S.; BEIJO, L.A.; KUMMROW, F. Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p.1099-1108, 2013.

RODRIGUES, M. B.. **Tratamento de efluentes proveniente da fabricação de TNT de uma indústria de explosivos utilizando processos redutivos e oxidativos avançados**. 2005. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biotecnologia Industrial, USP, Lorena, 2005.

SAMUEL-ROSA, A.; DALMOLIN, R. S. D.; COPETTI, A. C. C. A poluição causada por aterros de resíduos sólidos urbanos sobre os recursos hídricos. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.1, n.34, p.107-118, 2012.

SANCEYA, B.; TRUNFIO, G.; CHARLESA, J.; MINARY, J.F.; GAVOILLEC, S.; BADOTA, P.M; CRINI, G. Heavy metal removal from industrial effluents by sorption on cross-linked starch: Chemical study and impact on water toxicity. **Journal of Environmental Management**, v.92, p.765-772, 2011.

SILVA, C.E.; LANGE, L.C.; AMARAL, M.C.S.; ARTHUZO, P.P. Aplicação dos processos Fenton e foto-Fenton no tratamento de percolados de aterros sanitários. In: **XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, s.l, 2006.

SILVA, F. B. **Tratamento combinado de lixiviados de aterros sanitários**. 2009. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, T. F. C. V.; SILVA, M, E. F.; CUNHA-QUEDA, A. C.; FONSECA, A.; SARAIVA, I.; SOUZA, M. A.; GONÇALVES, C.; ALPENDURADA, M. F.; BOAVENTURA, R. A. R.; VILAR, V. J. P. Multistage treatment system for raw leachate from sanitary landfill combining biological nitrification-denitrification/solar photo-Fenton/ biological processes, at a scale close to industrial e biodegradability enhancement and evolution profile of trace pollutants. **Water Reserch**. p. 1-20, 2013a.

SILVA, T.F.C.V.; FERREIRA, R.; SOARES, P.A; MANENTI, D.R.; FONSECA, A.; SARAIVA, I.; BOAVENTURA, R.A.R.; VILAR,V.J.P. Sanitary landfill leachate treatment using combined solar photo-Fenton and biological oxidation processes at pre-industrial scale. **Chemical Engineering Journal**, v.228, p.850-866, 2013b.

SILVA, T.F.C.V. FERREIRA, R.; SOARES, P.A; MANENTI, D.R.; FONSECA, A.; SARAIVA, I.; BOAVENTURA, R.A.R.; VILAR,V.J.P. Insights into solar photo-Fenton reaction parameters in the oxidation of a sanitary landfill leachate at lab-scale. Insights into solar photo-Fenton reaction parameters in the oxidation of a sanitary landfill leachate at lab-scale. **Journal of Environmental Management**, v.164, p.32-40, 2015.

SOARES, P.A. ; BATALHA, M.; GUELLI, S.M.A.; SOUZA, U.; BOAVENTURA,R.A.R.; VILAR, V.J.P. Enhancement of a solar photo-Fenton reaction with ferric-organic ligands for the treatment of acrylic-textile dyeing wastewater. **Journal of Environmental Management**, v. 152, p.120-131, 2015.

SOARES, P.A.; SILVA, T.; MANENTI, D.R.; SOUZA, S.; BOAVENTURA, R.A.R.; VILAR, V.J.P. Insights into real cotton-textile dyeing wastewater treatment using solar advanced oxidation processes. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 21, p. 932 945, 2014.

SOBRERO, M.C., RONCO A, **Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Águas: Ensayo de toxicidad aguda com semillas de lechuga (Lactuca sativa L.)**. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Ottawa, Canada, p. 71–79, 2004

TARTARI, L. C. Avaliação do Processo de Tratamento do Chorume de Aterro Sanitário de Novo Hamburgo. **Revista Liberato**. Novo Hamburgo RS, v.6, n.6, p.66-74, 2005.

TOBA, Hiroki. **Avaliação da aplicação do processo de eletrolise no tratamento do chorume de aterro sanitário**. 2012. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

VASCONCELOS, O.M.S.R. **Degradação do antibiótico amoxicilina em efluente de indústria farmacêutica**. 2011. 136 f. Dissertação (mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

VILAR, V.J.P.; PINHO, L.X.; PINTOR, A.M.A.; BOAVENTURA, R.A.R. Treatment of textile wastewaters by solar-driven advanced oxidation process. **Solar Energy**. v. 85, p. 1927-1934, 2011a.

VILAR,V.J.P; ROCHA, E.M.R.; MOTAB, F.S; FONSECA, A.; SARAIVA, I.; BOAVENTURA, R.A.R. Treatment of a sanitary landfill leachate using combined solar photo-Fenton and biological immobilizes biomass reactor at a pilot scale. **Water Research**. v. 45, p.2647-2658, 2011b.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**, vol.1. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005.

WANG, L.K. **Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment**. CRC Press, 2004.

XIE, Z.; WANG, Z.; WANG, Q.; ZHU, C.; WU, Z. An anaerobic dynamic membrane bioreactor (AnDMBR) for landfill leachate treatment: Performance and microbial community identification. **Bioresource Technology**, n.161, p.29-39, 2014.

YOUNG, B. J.; RIERA, N.I.; BEILY, M.E.; BRES, P.A.; CRESPO, D.C.; RONCO, A.E. Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, n.76, p.182-186, 2012.

ZHANG, Q.; TIAN, B.H.; ZHANG, X.; GHULAM, A.; FANG, C.R.; HE, R. Investigation on characteristics of leachate and concentrated leachate in three landfill leachate treatment plants. **Waste Management**, n 33, p. 2277-2286, 2013.

APÊNDICE

APÊNDICE 1

Quadro 1. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A0.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100%	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 01	1,250	2,220	0,631	1,032	0,794	0,762	0,515	0,000	0,371	0,195	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,700	1,245	0,984	1,114	0,830	0,779	0,293	0,000	0,271	0,106	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,140	2,900	0,798	1,043	0,561	0,866	0,316	0,000	0,320	0,140	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,160	1,790	0,448	1,086	1,265	0,796	0,090	0,000	0,280	0,095	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,620	2,050	0,689	1,100	0,417	0,604	0,247	0,000	1,144	0,261	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,600	1,140	1,056	1,409	1,018	0,859	0,231	0,000	1,325	0,523	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,730	1,340	0,827	1,128	0,732	0,412	0,299	0,000	0,933	0,912	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,890	0,940	0,807	1,776	0,590	0,695	0,365	0,000	0,401	0,288	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,135	1,000	0,737	1,256	0,285	0,167	0,366	0,000	0,381	0,147	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,025	2,350	1,108	1,571	0,697	0,963	0,367	0,000	0,381	0,292	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,862	1,810	0,945	1,019	0,532	0,776	0,388	0,000	0,268	0,078	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,010	1,900	1,071	1,551	0,315	0,690	0,284	0,000	1,796	0,357	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,914	1,300	0,809	1,324	0,691	0,760	0,286	0,000	1,645	0,531	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,946	0,635	0,736	1,011	0,227	0,398	0,114	0,000	1,669	0,866	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,819	2,327	0,761	0,869	0,408	0,354	0,283	0,000	1,036	0,318	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,525	1,014	0,563	1,096	0,196	0,224	0,237	0,000	0,827	0,459	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,448	0,628	0,935	1,123	0,357	0,435	0,236	0,000	1,740	0,452	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,412	0,412	0,894	0,403	0,343	0,230	0,165	0,000	0,606	0,337	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	1,250	1,630	0,000	0,000	0,000	0,000	0,346	0,214	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,553	0,622	0,000	0,000	0,000	0,000	0,251	0,087	0,000	0,000	0,000	0,000
PLACA 02			1,251	2,161	1,077	1,039	0,166	0,000	0,312	0,195	0,128	0,000	0,000	0,000
			1,268	1,822	0,733	0,515	0,277	0,000	0,331	0,257	0,127	0,000	0,000	0,000
			1,540	2,943	0,691	0,551	0,306	0,000	0,476	0,234	0,127	0,000	0,000	0,000
			1,319	1,553	1,126	0,449	0,343	0,000	0,338	0,235	0,105	0,000	0,000	0,000
			1,235	1,256	1,029	0,854	0,363	0,000	0,445	0,196	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,183	1,437	0,402	0,496	0,222	0,000	0,343	0,112	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,310	1,246	0,952	0,955	0,314	0,000	0,996	0,644	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,742	0,629	0,698	0,815	0,402	0,000	1,257	0,707	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,929	0,927	0,166	0,339	0,384	0,000	0,991	0,343	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,859	1,165	0,311	0,246	0,426	0,000	0,594	0,610	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,047	1,398	1,072	1,396	0,338	0,000	0,235	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,915	0,914	0,862	0,592	0,404	0,000	0,692	0,337	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,256	0,626	0,442	0,774	0,277	0,000	0,336	0,121	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,601	0,961	0,285	0,442	0,384	0,000	0,237	0,078	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,810	1,892	0,214	0,349	0,386	0,000	0,239	0,140	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,232	0,000	0,784	0,368	0,453	0,000	0,338	0,137	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,159	0,291	1,028	0,482	0,371	0,000	0,255	0,126	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,280	0,799	0,677	0,461	0,306	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,097	0,345	0,588	0,545	0,302	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,422	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 1. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A0.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100%	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 03			0,812	1,447	1,069	1,385	0,732	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,838	1,183	0,495	0,421	0,535	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,25	1,882	1,053	1,324	0,459	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,276	2,189	1,019	0,739	0,342	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,348	2,357	0,863	1,022	0,558	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,855	0,902	0,848	1,108	0,566	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,069	1,737	0,813	1,000	0,842	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,011	1,649	0,937	1,240	0,661	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,789	1,081	0,670	0,810	0,790	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,69	0,799	0,512	0,586	0,312	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,806	1,244	0,870	1,033	0,419	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,548	0,545	0,935	0,732	0,529	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,415	1,721	0,665	0,554	0,440	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,294	0,412	0,807	0,672	0,324	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,363	1,321	0,835	0,609	0,540	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,801	1,04	0,000	0,475	0,477	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,093	1,301	0,000	0,000	0,436	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,527	1,047	0,000	0,000	0,622	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,495	0,72	0,000	0,000	0,283	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 2. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A1.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100 %	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 01	0,843	1,117	1,596	1,670	0,672	1,180	0,690	1,197	2,916	1,053	0,270	0,416	0,000	0,000
	0,912	1,826	0,890	0,825	1,072	1,312	0,550	0,940	2,952	1,375	0,307	0,350	0,000	0,000
	0,885	1,738	0,727	0,708	1,483	0,890	0,623	1,438	2,876	1,445	0,508	0,646	0,000	0,000
	0,718	1,234	0,709	0,817	0,953	0,998	0,278	0,184	2,382	1,452	0,230	0,397	0,000	0,000
	0,667	0,834	1,082	1,180	1,300	1,087	0,292	0,380	1,936	1,283	0,195	0,333	0,000	0,000
	0,592	1,004	1,215	1,160	0,755	1,646	0,320	0,212	2,881	1,198	0,230	0,222	0,000	0,000
	0,516	0,746	0,495	0,250	0,740	0,515	0,224	0,291	1,769	1,313	0,252	0,311	0,000	0,000
	0,782	0,961	0,798	0,928	1,053	0,988	0,790	1,564	3,031	0,772	0,260	0,227	0,000	0,000
	0,525	0,448	0,958	1,000	0,704	1,116	0,547	1,147	1,577	0,713	0,370	0,690	0,000	0,000
	0,623	0,842	0,930	0,754	0,596	1,155	0,504	0,354	1,859	1,021	0,170	0,251	0,000	0,000
	0,637	0,943	0,520	0,270	1,264	1,112	0,470	0,840	3,520	1,036	0,193	0,217	0,000	0,000
	0,435	0,812	0,412	0,220	1,027	1,292	0,508	1,124	0,806	0,248	0,150	0,260	0,000	0,000
	0,438	0,277	0,393	0,000	0,434	0,436	0,335	0,488	0,000	0,000	0,352	0,320	0,000	0,000
	0,501	0,847	0,384	0,260	0,796	0,743	0,228	1,104	0,000	0,000	0,137	0,115	0,000	0,000
	0,613	0,582	0,439	0,277	0,970	1,583	0,429	1,110	0,000	0,000	0,329	0,000	0,000	0,000
	0,461	0,000	0,294	0,000	0,414	0,260	0,135	0,262	0,000	0,000	0,512	0,278	0,000	0,000
	0,404	0,458	0,380	0,000	0,480	0,268	0,155	0,201	0,000	0,000	0,465	0,397	0,000	0,000
	0,279	0,000	0,334	0,150	1,057	1,227	0,540	0,810	0,000	0,000	0,492	0,337	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,220	0,000	1,044	0,486	0,219	0,163	0,000	0,000	0,218	0,255	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,218	0,157	0,739	1,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,310	0,385	0,000	0,000
PLACA 02			1,029	1,210	0,836	0,770	0,910	1,677	2,359	1,432	0,535	0,664	0,000	0,000
			0,880	1,082	0,511	0,333	1,093	1,909	2,105	0,995	0,220	0,358	0,000	0,000
			0,723	0,882	0,617	0,277	0,803	1,728	2,974	1,147	0,421	0,512	0,000	0,000
			1,210	1,110	0,377	0,315	0,611	1,095	2,204	1,076	0,186	0,295	0,000	0,000
			0,964	0,897	0,680	0,715	0,690	0,884	2,036	1,123	0,180	0,135	0,000	0,000
			0,542	0,648	1,213	1,283	0,260	0,388	1,849	0,959	0,336	0,540	0,000	0,000
			0,925	1,723	0,410	0,510	0,244	0,668	2,569	1,402	0,250	0,194	0,000	0,000
			0,674	0,733	0,452	0,568	0,405	0,470	2,213	1,108	0,200	0,250	0,000	0,000
			0,533	0,487	0,958	1,265	0,290	0,290	1,251	0,992	0,190	0,185	0,000	0,000
			0,658	0,678	0,547	0,303	0,630	0,900	2,153	0,818	0,300	0,170	0,000	0,000
			1,226	1,616	0,217	0,219	0,980	1,885	2,793	1,106	0,255	0,228	0,000	0,000
			1,080	1,446	0,408	0,368	0,381	0,425	1,348	1,094	0,315	0,350	0,000	0,000
			0,984	0,452	1,332	0,735	0,877	1,100	1,583	0,505	0,280	0,000	0,000	0,000
			0,653	0,470	0,734	0,837	0,540	0,575	1,757	1,011	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,438	0,290	0,474	0,366	0,847	1,168	1,707	0,781	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,390	0,246	0,563	0,806	0,506	1,161	0,572	0,443	0,400	0,225	0,000	0,000
			0,333	0,213	0,810	1,293	0,746	0,995	0,514	0,987	0,193	0,190	0,000	0,000
			0,234	0,226	0,670	0,472	0,387	0,422	0,000	0,000	0,143	0,000	0,000	0,000
			0,263	0,133	0,000	0,000	0,408	0,483	0,000	0,000	0,247	0,185	0,000	0,000
			0,387	0,205	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,180	0,138	0,000	0,000

Quadro 2. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A1.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100%	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 03			0,550	0,976	0,584	0,831	0,873	1,546	2,896	1,184	0,140	0,000	0,000	0,000
			1,148	1,363	0,744	1,660	0,899	1,303	1,595	1,399	0,263	0,235	0,000	0,000
			0,822	0,714	1,060	1,398	0,600	0,792	2,542	1,331	0,175	0,000	0,000	0,000
			0,913	1,029	1,357	1,599	0,643	0,600	2,504	1,361	0,260	0,294	0,000	0,000
			0,637	0,746	0,796	1,540	1,002	1,670	1,464	0,898	0,187	0,130	0,000	0,000
			1,034	0,700	1,300	1,651	0,544	0,785	2,606	1,217	0,240	0,190	0,000	0,000
			0,916	0,852	1,322	1,139	0,843	1,359	1,564	1,220	0,191	0,000	0,000	0,000
			1,005	0,490	0,377	0,375	0,935	1,046	3,279	1,453	0,298	0,475	0,000	0,000
			0,734	0,508	0,333	0,221	0,570	1,540	2,293	1,054	0,105	0,000	0,000	0,000
			0,668	0,400	0,540	0,742	0,712	1,200	1,446	1,341	0,180	0,000	0,000	0,000
			0,592	0,650	1,065	1,132	0,788	1,517	2,284	1,318	0,293	0,304	0,000	0,000
			0,437	0,485	0,440	0,363	0,803	1,314	0,382	0,250	0,120	0,000	0,000	0,000
			1,368	1,578	1,040	1,520	0,370	0,682	0,000	0,000	0,109	0,388	0,000	0,000
			0,748	0,400	1,085	1,430	0,367	0,847	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,160	0,797	1,344	1,874	0,700	1,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,300	0,170	1,134	1,270	0,647	1,547	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,256	0,158	0,330	0,172	0,240	0,260	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,475	0,285	0,240	0,222	0,734	1,360	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,306	0,157	0,222	0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 3. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A2.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100 %	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 01	1,359	0,488	3,492	1,362	2,081	1,082	0,810	0,923	1,154	0,529	0,273	0,088	0,000	0,000
	1,098	0,480	2,180	0,666	3,332	1,307	3,520	1,077	0,445	0,270	0,300	0,121	0,000	0,000
	1,785	0,726	2,491	0,675	3,016	1,701	1,895	0,745	0,402	0,215	0,495	0,312	0,000	0,000
	0,634	0,517	1,553	0,815	3,018	1,272	2,870	0,766	1,103	0,601	0,198	0,091	0,000	0,000
	1,797	0,591	1,273	0,821	1,026	1,617	1,034	0,629	0,535	0,257	0,346	0,119	0,000	0,000
	2,346	2,361	2,517	1,555	2,261	0,562	1,582	0,680	1,178	0,476	0,437	0,182	0,000	0,000
	7,798	2,100	2,161	1,266	2,909	0,627	1,642	3,840	1,063	0,516	0,295	0,169	0,000	0,000
	2,407	1,657	1,652	0,998	2,516	0,720	1,729	0,316	0,480	0,314	1,146	0,413	0,000	0,000
	2,732	1,153	2,753	1,110	2,010	0,780	2,763	1,400	0,670	0,450	0,938	0,490	0,000	0,000
	2,802	2,280	1,849	0,730	3,070	1,749	2,304	0,485	0,416	0,254	0,226	0,177	0,000	0,000
	1,460	0,694	2,611	1,241	3,129	0,855	2,437	1,036	0,230	0,106	0,254	0,086	0,000	0,000
	1,243	1,131	2,708	0,903	2,258	1,120	1,610	0,592	0,778	0,243	0,235	0,200	0,000	0,000
	2,902	2,846	2,882	0,764	0,820	0,923	2,487	0,797	0,600	0,242	0,251	0,150	0,000	0,000
	1,900	0,800	2,307	1,331	1,154	0,953	2,438	1,057	0,104	0,124	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,250	2,337	2,964	2,399	1,207	0,525	2,109	0,844	0,357	0,184	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,945	0,726	2,989	2,092	0,715	0,762	0,648	0,491	0,215	0,207	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,186	0,121	0,728	0,524	0,600	1,037	0,352	0,212	0,268	0,211	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,880	0,789	0,000	0,000	0,800	0,534	0,179	0,440	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,543	0,460	0,000	0,000	0,975	0,516	0,340	0,225	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,506	0,462	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PLACA 02			3,108	2,493	3,166	1,332	1,505	0,783	0,923	0,550	1,670	0,797	0,000	0,000
			3,429	1,624	2,527	1,788	2,801	1,015	0,888	0,485	0,829	0,662	0,000	0,000
			3,000	1,773	2,188	1,221	2,905	1,552	0,556	0,258	0,335	0,436	0,000	0,000
			2,381	0,545	3,391	1,366	1,672	1,097	0,414	0,199	0,578	0,430	0,000	0,000
			1,549	0,842	2,996	1,813	2,946	1,533	0,375	0,394	1,117	0,468	0,000	0,000
			3,065	1,772	3,450	2,278	3,623	0,931	0,720	0,281	0,365	0,334	0,000	0,000
			2,033	1,073	1,203	1,190	2,946	1,386	0,523	0,354	1,565	0,651	0,000	0,000
			3,485	1,577	1,800	1,214	2,224	1,132	0,211	0,232	0,470	0,336	0,000	0,000
			1,980	0,567	1,630	1,404	1,607	0,888	0,165	0,109	0,610	0,262	0,000	0,000
			1,840	0,552	1,506	0,805	0,996	0,612	0,217	0,164	0,550	0,463	0,000	0,000
			1,021	0,703	1,099	0,664	0,952	0,629	0,359	0,307	1,016	0,422	0,000	0,000
			1,392	0,605	1,970	0,634	1,187	0,946	0,500	0,172	0,317	0,347	0,000	0,000
			0,610	0,344	0,804	0,606	0,718	0,844	0,384	0,222	0,478	0,286	0,000	0,000
			0,644	0,572	0,462	0,397	1,645	0,594	0,292	0,200	0,504	0,432	0,000	0,000
			0,309	0,395	1,085	0,779	1,282	0,573	0,169	0,093	0,368	0,176	0,000	0,000
			0,526	0,347	1,072	0,888	0,971	0,735	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,270	0,271	0,848	0,350	1,375	0,368	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,208	0,371	0,604	0,423	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,583	0,426	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,647	0,743	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 3. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A2.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100 %	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 03			2,112	1,173	3,202	1,425	1,612	0,523	1,113	0,347	0,845	0,204	0,000	0,000
			3,570	2,553	1,430	0,782	2,514	0,626	1,072	0,518	0,500	0,412	0,000	0,000
			3,670	2,314	2,425	1,390	2,321	0,470	1,220	0,613	0,687	0,493	0,000	0,000
			2,242	1,084	2,261	1,660	2,704	0,892	0,785	0,564	0,405	0,503	0,000	0,000
			2,183	1,024	2,911	1,303	2,890	0,954	1,077	0,388	1,121	0,500	0,000	0,000
			2,140	0,609	1,669	1,028	2,445	0,641	0,534	0,409	0,998	0,565	0,000	0,000
			3,446	1,627	2,653	1,472	1,922	0,612	0,603	0,284	1,132	0,588	0,000	0,000
			1,255	1,311	2,573	0,920	1,014	0,728	1,000	0,535	0,713	0,288	0,000	0,000
			1,649	0,729	2,055	0,716	1,180	2,325	0,597	0,554	0,812	0,463	0,000	0,000
			2,391	1,383	1,046	0,781	2,664	0,810	0,500	0,261	0,921	0,295	0,000	0,000
			2,592	2,689	1,458	1,529	0,785	0,558	0,759	0,400	0,466	0,434	0,000	0,000
			2,187	1,777	1,620	0,438	2,397	0,724	0,000	0,237	0,599	0,340	0,000	0,000
			2,672	1,232	1,302	0,885	2,544	1,005	0,392	0,181	1,446	0,600	0,000	0,000
			1,390	0,933	0,408	0,342	0,971	0,423	0,284	0,140	0,433	0,242	0,000	0,000
			1,269	0,427	0,339	0,516	0,505	0,566	0,218	0,145	0,260	0,245	0,000	0,000
			0,410	0,357	0,537	0,537	0,508	0,411	0,256	0,157	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,289	0,617	0,352	0,350	0,016	0,026	0,130	0,693	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,294	0,090	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 4. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A3.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100%	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 01	1,590	1,116	2,660	2,407	2,007	2,303	2,204	0,928	0,337	0,093	0,227	0,105	0,000	0,000
	1,994	1,718	1,387	1,016	1,825	0,846	2,766	1,334	0,827	0,234	0,229	0,103	0,000	0,000
	2,130	1,535	2,419	1,763	1,810	0,889	1,895	0,803	0,866	0,330	0,197	0,100	0,000	0,000
	0,634	0,800	1,157	1,064	1,643	1,500	1,503	0,798	0,454	0,103	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,383	0,604	2,704	1,028	2,892	2,310	1,253	0,887	0,330	0,105	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,428	0,800	1,974	2,110	2,778	2,543	2,773	0,769	0,416	0,125	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,321	0,232	2,377	0,746	2,148	1,685	2,330	1,051	0,654	0,302	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,436	0,719	1,882	2,090	2,589	1,815	1,834	0,561	0,261	0,175	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,334	0,331	2,522	1,653	1,970	1,902	1,591	0,497	0,226	0,115	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,513	0,812	2,702	2,487	2,656	2,481	1,330	0,997	0,819	0,382	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,307	0,571	2,367	2,861	1,640	0,891	1,320	0,291	0,370	0,164	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,341	0,536	2,297	2,560	1,628	1,389	0,745	0,356	0,484	0,203	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,387	0,795	1,250	1,412	1,728	1,213	0,638	0,420	0,268	0,125	0,000	0,000	0,000	0,000
	2,080	1,974	0,987	0,647	0,956	0,607	0,271	0,104	0,235	0,193	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,712	1,953	0,984	0,735	0,552	0,844	0,000	0,000	0,302	0,157	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,012	0,695	1,259	1,096	1,813	0,923	0,000	0,000	0,238	0,184	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,812	1,844	0,134	0,250	1,869	0,953	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,513	11,033	1,206	0,707	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PLACA 02			1,820	0,863	2,583	1,153	1,903	0,879	1,017	0,367	0,230	0,090	0,000	0,000
			2,166	1,013	2,712	1,271	2,169	1,193	0,433	0,270	1,162	0,075	0,000	0,000
			2,267	1,051	1,748	1,309	2,475	1,731	0,310	0,192	0,178	0,098	0,000	0,000
			1,952	1,450	2,135	0,988	1,951	1,318	0,253	0,172	0,272	0,070	0,000	0,000
			1,963	0,846	1,978	1,658	2,063	1,581	0,245	0,131	0,295	0,060	0,000	0,000
			2,734	1,638	1,960	1,848	1,355	1,053	0,267	0,103	0,183	0,038	0,000	0,000
			1,261	0,731	2,453	1,241	2,430	1,545	0,285	0,096	0,222	0,040	0,000	0,000
			2,483	1,521	3,018	0,833	1,796	1,000	0,236	0,133	0,192	0,010	0,000	0,000
			2,466	1,963	2,396	0,710	2,175	1,130	0,370	0,216	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,385	1,317	1,579	1,133	1,446	0,049	0,238	0,098	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,665	0,636	0,943	0,603	1,901	1,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			3,080	2,542	1,397	0,364	2,301	1,173	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,017	1,177	2,497	1,956	2,657	1,765	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,269	0,299	1,288	0,681	0,768	0,307	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,391	0,544	1,998	1,213	0,528	0,310	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,732	0,800	0,417	0,541	0,337	0,270	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,130	0,390	0,000	0,000	0,492	0,609	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,330	0,273	0,000	0,000	0,278	0,371	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,244	0,405	0,000	0,000	2,710	0,943	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,256	0,441	0,000	0,000	2,642	1,068	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 4. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A3.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100%	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 03			2,619	1,903	1,322	1,540	1,824	0,367	0,859	0,330	0,417	0,500	0,000	0,000
			1,403	1,066	1,933	2,304	1,585	0,576	0,295	0,427	0,404	0,258	0,000	0,000
			2,398	1,273	2,105	0,614	1,264	0,665	0,706	0,432	0,255	0,055	0,000	0,000
			2,422	1,324	1,310	0,804	2,129	1,179	0,225	0,180	0,317	0,165	0,000	0,000
			1,666	0,646	2,447	0,993	2,117	1,012	0,175	0,106	0,160	0,050	0,000	0,000
			1,884	1,706	2,484	20,269	1,474	0,780	0,199	0,125	0,138	0,060	0,000	0,000
			2,477	1,056	1,842	0,543	1,825	1,316	0,254	0,110	0,623	0,070	0,000	0,000
			2,803	2,346	1,314	1,125	0,972	1,419	0,329	0,065	1,890	0,030	0,000	0,000
			2,103	2,263	1,975	2,102	1,557	0,326	0,285	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,514	1,486	1,359	1,437	2,423	1,058	0,188	0,131	0,000	0,000	0,000	0,000
			2,166	2,329	1,521	0,889	2,067	1,038	0,286	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000
			2,223	2,407	0,767	0,726	2,433	1,547	0,257	0,101	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,517	0,777	0,910	0,478	2,015	0,641	0,379	0,113	0,000	0,000	0,000	0,000
			2,332	1,855	0,574	0,534	1,662	0,902	0,316	0,132	0,000	0,000	0,000	0,000
			2,014	2,107	0,312	0,502	1,693	0,942	0,141	0,417	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,752	1,286	0,317	0,542	0,990	0,315	0,000	0,327	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,623	0,734	0,238	0,234	0,426	0,408	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,538	0,770	0,251	0,475	0,934	0,402	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,230	0,798	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 5. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A4.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100 %	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 01	0,296	0,420	1,288	1,154	1,145	0,920	3,336	1,432	0,497	0,181	0,445	0,245	0,000	0,000
	0,298	0,438	2,788	2,846	2,145	2,036	2,283	1,715	0,311	0,225	0,704	0,362	0,000	0,000
	0,462	0,236	1,930	1,475	1,730	1,030	1,959	1,197	0,381	0,194	0,495	0,433	0,000	0,000
	0,729	0,675	2,186	1,789	2,407	1,925	3,014	1,667	0,368	0,164	0,402	0,402	0,000	0,000
	0,352	0,314	2,170	1,422	2,328	2,000	2,847	0,875	0,272	0,230	0,496	0,671	0,000	0,000
	0,631	0,609	1,646	1,447	1,740	0,940	1,985	0,797	0,256	0,143	0,493	0,401	0,000	0,000
	0,571	0,881	2,310	1,040	0,630	0,756	1,346	1,091	0,258	0,136	0,297	0,293	0,000	0,000
	0,264	0,383	2,133	1,944	1,628	1,528	2,629	1,846	0,344	0,179	0,399	0,296	0,000	0,000
	0,780	0,522	2,393	1,033	2,015	1,913	2,849	1,449	0,331	0,218	0,247	0,204	0,000	0,000
	2,077	1,471	2,414	2,390	0,945	0,627	1,351	0,938	0,209	0,147	0,345	0,336	0,000	0,000
	1,758	1,130	2,077	1,387	1,200	0,915	0,439	0,291	0,328	0,207	0,378	0,259	0,000	0,000
	1,482	1,306	1,222	0,817	1,688	0,588	2,223	0,629	0,175	0,093	0,313	0,283	0,000	0,000
	2,559	1,944	1,075	0,750	1,462	1,388	2,187	0,602	0,287	0,131	0,330	0,416	0,000	0,000
	1,884	0,928	0,346	0,550	0,608	0,833	2,085	0,467	0,225	0,174	0,168	0,371	0,000	0,000
	1,865	1,074	0,624	0,600	2,525	1,842	1,026	1,561	0,000	0,000	0,430	0,285	0,000	0,000
	1,482	2,491	0,755	0,607	0,734	1,270	1,502	0,876	0,000	0,000	0,304	0,177	0,000	0,000
	1,349	1,461	0,627	1,200	0,490	0,480	1,214	0,911	0,000	0,000	0,246	0,156	0,000	0,000
	0,359	0,458	0,370	0,730	0,000	0,000	0,947	1,079	0,000	0,000	0,000	0,248	0,000	0,000
	0,825	1,018	0,277	0,580	1,189	1,450	0,427	0,554	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,024	0,985	2,307	2,796	0,000	0,000	3,151	1,712	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PLACA 02			2,236	2,256	2,570	0,645	2,987	1,390	0,968	0,771	0,448	0,193	0,000	0,000
			2,340	1,670	1,782	1,825	2,740	1,280	1,223	0,618	0,253	0,237	0,000	0,000
			2,205	1,607	2,787	0,959	3,175	1,764	1,014	0,733	0,337	0,337	0,000	0,000
			1,902	1,485	2,402	1,181	2,611	1,144	1,526	0,700	0,462	0,350	0,000	0,000
			1,152	0,960	2,632	1,121	1,659	1,002	1,284	0,860	0,639	0,720	0,000	0,000
			2,025	1,875	2,528	1,843	2,311	1,143	0,790	0,249	0,603	0,435	0,000	0,000
			2,585	1,477	2,309	1,239	2,603	1,319	0,783	0,722	0,324	0,172	0,000	0,000
			2,058	1,916	1,019	1,525	2,076	0,892	0,522	0,671	0,428	0,275	0,000	0,000
			2,827	1,717	2,991	1,096	1,529	0,995	0,482	0,301	0,509	0,284	0,000	0,000
			2,318	1,183	0,686	1,339	1,013	1,302	0,430	0,386	0,348	0,366	0,000	0,000
			1,846	0,600	1,697	0,191	1,386	0,877	1,235	0,635	0,274	0,129	0,000	0,000
			0,630	0,411	1,641	1,035	1,185	0,777	0,500	0,410	0,274	0,225	0,000	0,000
			1,929	1,353	1,315	1,125	2,750	1,285	0,492	0,286	0,286	0,246	0,000	0,000
			0,550	0,654	1,551	0,664	2,177	0,870	0,324	0,279	0,233	0,322	0,000	0,000
			2,073	1,466	1,290	0,673	0,545	0,452	0,373	0,234	0,342	0,230	0,000	0,000
			1,144	0,886	1,094	0,338	0,760	0,501	0,355	0,231	0,394	0,240	0,000	0,000
			0,817	1,612	0,743	0,397	0,000	0,307	0,283	0,272	0,296	0,223	0,000	0,000
			0,960	0,653	0,792	0,252	0,000	0,000	0,446	0,280	0,000	0,290	0,000	0,000
			0,500	0,668	0,263	0,289	0,000	0,000	1,973	0,248	0,281	0,240	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,324	0,338	0,000	0,000	1,510	0,854	0,320	0,089	0,000	0,000

Quadro 5. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A4.

PLACA 03	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100 %	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
			2,611	2,110	2,861	1,658	1,865	0,954	1,403	0,751	0,185	0,203	0,000	0,000
			1,520	1,150	2,464	1,745	1,764	0,940	1,074	0,892	0,164	0,017	0,000	0,000
			1,457	1,017	1,706	0,973	2,601	1,051	1,319	0,784	0,191	0,171	0,000	0,000
			2,183	1,390	2,576	1,341	1,044	0,766	1,283	0,629	0,131	0,231	0,000	0,000
			0,958	0,724	2,887	2,329	1,854	1,087	1,074	0,569	0,134	0,484	0,000	0,000
			1,703	0,847	0,508	1,654	1,940	0,993	1,251	0,587	0,502	0,606	0,000	0,000
			1,198	0,850	1,428	1,715	2,463	0,880	0,844	0,498	0,482	0,484	0,000	0,000
			2,154	2,042	2,572	1,712	1,798	0,705	0,346	0,275	0,493	0,105	0,000	0,000
			1,806	0,626	2,020	1,580	1,396	0,588	0,588	0,356	0,450	0,112	0,000	0,000
			1,035	1,166	1,809	0,780	1,823	0,810	0,645	0,257	0,506	0,168	0,000	0,000
			2,436	1,524	0,411	1,530	1,513	1,006	0,238	0,283	0,180	0,127	0,000	0,000
			2,268	1,334	1,324	1,041	0,247	0,480	0,319	0,192	0,232	0,209	0,000	0,000
			0,350	0,627	1,476	0,747	0,266	0,420	0,323	0,260	0,352	0,311	0,000	0,000
			0,657	0,602	2,643	1,345	0,846	0,293	0,406	0,247	0,271	0,173	0,000	0,000
			0,240	0,537	2,837	2,334	2,214	1,361	0,615	0,242	0,309	0,117	0,000	0,000
			0,320	0,504	1,727	0,883	2,077	0,910	0,000	0,000	0,233	0,128	0,000	0,000
			0,220	0,638	0,354	0,235	0,202	0,115	0,000	0,000	0,255	0,134	0,000	0,000
			0,000	0,220	0,228	0,353	0,136	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,055	0,254	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 6. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A5.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100 %	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 01	2,426	2,894	2,007	0,842	2,637	1,624	2,574	1,721	1,846	0,933	0,421	0,263	0,000	0,000
	2,593	1,967	2,735	1,121	2,800	1,117	2,679	1,257	1,821	1,079	0,623	0,315	0,000	0,000
	2,892	2,405	1,092	1,400	2,962	0,972	2,445	0,978	1,495	0,812	0,200	0,207	0,000	0,000
	1,843	2,191	1,854	0,624	0,232	1,142	1,075	0,820	1,474	0,904	1,324	0,479	0,000	0,000
	2,400	2,672	1,077	1,670	1,262	1,130	0,940	0,444	1,740	0,949	0,250	0,102	0,000	0,000
	1,243	1,360	0,871	0,518	2,523	0,695	0,705	0,898	1,531	0,946	0,841	0,762	0,000	0,000
	2,369	2,991	2,877	0,852	2,964	1,654	1,609	0,508	1,844	0,782	0,908	0,757	0,000	0,000
	2,583	2,209	0,387	0,420	2,276	1,068	0,718	0,521	1,812	0,731	0,405	0,488	0,000	0,000
	2,214	1,692	3,232	0,870	1,202	0,752	1,571	0,762	1,849	0,749	0,309	0,176	0,000	0,000
	2,353	1,308	3,217	3,657	3,287	1,722	2,585	1,396	1,433	0,701	0,728	0,834	0,000	0,000
	0,224	0,365	3,192	1,831	1,418	1,181	1,608	0,906	1,143	0,520	0,321	0,247	0,000	0,000
	0,935	0,605	2,169	1,243	1,551	0,987	1,820	1,245	1,904	0,702	0,355	0,192	0,000	0,000
	0,365	0,412	0,244	0,395	0,607	0,423	2,984	1,662	1,009	0,716	0,000	0,000	0,000	0,000
	2,064	0,957	0,205	0,307	0,417	0,266	1,191	0,340	0,823	0,818	0,000	0,000	0,000	0,000
	2,511	2,809	0,277	0,306	0,358	0,238	0,341	0,423	0,485	0,377	0,000	0,000	0,000	0,000
	2,164	1,641	2,300	0,677	1,312	0,416	3,000	1,400	0,807	0,399	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,915	1,181	2,481	1,330	2,222	1,955	0,394	0,357	0,359	0,327	0,000	0,000	0,000	0,000
	2,959	1,866	0,000	0,000	0,000	0,000	0,335	0,298	0,366	0,331	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,693	1,790	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2,337	0,928	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PLACA 02			2,418	1,106	3,100	1,242	2,187	1,272	1,726	1,396	0,328	0,396	0,000	0,000
			2,085	1,465	1,618	0,816	3,068	1,582	2,007	1,626	0,378	0,277	0,000	0,000
			2,481	1,793	2,682	1,624	2,512	1,117	1,396	1,190	0,528	0,200	0,000	0,000
			2,787	2,617	1,585	1,131	1,442	1,518	1,948	1,323	0,345	0,233	0,000	0,000
			2,905	1,585	3,111	0,737	2,532	1,202	2,230	1,491	0,299	0,246	0,000	0,000
			2,384	1,900	2,483	2,022	1,851	1,281	1,689	1,054	0,949	0,433	0,000	0,000
			1,081	1,111	2,051	1,518	2,167	1,067	2,222	1,340	0,535	0,258	0,000	0,000
			1,772	1,858	0,495	0,452	1,651	0,695	1,699	1,271	0,459	0,423	0,000	0,000
			1,815	0,822	2,061	0,651	1,253	0,851	0,882	0,913	0,777	0,136	0,000	0,000
			2,706	1,334	1,587	0,667	1,238	0,572	1,534	0,707	0,520	0,198	0,000	0,000
			2,522	1,928	2,302	0,892	2,666	0,841	1,571	0,982	0,224	0,133	0,000	0,000
			3,239	1,137	2,012	1,018	1,234	0,760	1,879	1,540	0,292	0,159	0,000	0,000
			3,114	1,371	0,980	0,687	2,068	0,925	1,527	1,144	0,765	0,605	0,000	0,000
			0,708	0,492	1,192	0,586	2,004	1,122	0,553	0,505	0,383	0,121	0,000	0,000
			0,929	0,565	0,500	0,361	1,895	0,758	1,732	0,627	0,242	0,100	0,000	0,000
			3,146	1,235	0,375	0,325	0,957	0,855	1,331	0,255	0,398	0,421	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	2,276	1,272	0,767	0,781	0,344	0,075	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,911	0,416	1,487	1,057	0,263	0,177	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	2,411	1,331	0,487	0,232	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	2,255	1,773	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 5. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A5.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100%	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 03			1,558	1,140	2,793	1,215	1,215	1,193	1,495	1,235	0,471	0,476	0,000	0,000
			1,749	0,858	0,866	0,683	0,683	0,805	1,555	0,899	0,296	0,128	0,000	0,000
			1,569	1,005	2,765	2,440	2,440	0,678	1,704	0,877	0,311	0,270	0,000	0,000
			2,087	1,141	2,810	0,805	0,805	0,914	1,415	1,004	0,346	0,292	0,000	0,000
			1,902	0,690	2,565	1,015	1,015	1,426	2,112	0,997	1,340	0,690	0,000	0,000
			0,924	0,574	1,995	1,257	1,257	0,781	1,705	1,174	0,741	0,512	0,000	0,000
			0,846	0,580	3,223	2,305	2,305	0,934	2,245	1,049	0,248	0,169	0,000	0,000
			2,426	0,918	1,761	0,654	0,654	1,698	1,004	0,707	0,635	0,324	0,000	0,000
			0,528	1,071	1,595	0,836	0,836	1,347	1,710	0,698	0,727	0,350	0,000	0,000
			1,213	0,667	1,603	0,712	0,712	0,932	0,551	0,606	0,000	0,330	0,000	0,000
			1,119	1,501	1,840	1,410	1,410	0,831	1,069	0,543	0,195	0,074	0,000	0,000
			1,005	0,847	1,454	2,223	2,223	1,278	0,445	0,421	0,401	0,180	0,000	0,000
			1,113	0,572	30,960	2,304	2,304	1,247	0,356	0,417	0,000	0,000	0,000	0,000
			2,413	0,861	2,434	2,326	2,326	1,070	0,519	0,562	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,855	0,641	3,173	1,421	1,421	0,440	0,709	0,559	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	1,858	0,614	0,614	0,761	0,261	0,427	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	2,527	0,783	0,783	0,893	0,389	0,202	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	2,203	1,498	1,498	0,815	0,388	0,391	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	2,919	2,386	2,386	0,885	0,933	0,567	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,988	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 6. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A5.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100%	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 03			1,558	1,140	2,793	1,215	1,215	1,193	1,495	1,235	0,471	0,476	0,000	0,000
			1,749	0,858	0,866	0,683	0,683	0,805	1,555	0,899	0,296	0,128	0,000	0,000
			1,569	1,005	2,765	2,440	2,440	0,678	1,704	0,877	0,311	0,270	0,000	0,000
			2,087	1,141	2,810	0,805	0,805	0,914	1,415	1,004	0,346	0,292	0,000	0,000
			1,902	0,690	2,565	1,015	1,015	1,426	2,112	0,997	1,340	0,690	0,000	0,000
			0,924	0,574	1,995	1,257	1,257	0,781	1,705	1,174	0,741	0,512	0,000	0,000
			0,846	0,580	3,223	2,305	2,305	0,934	2,245	1,049	0,248	0,169	0,000	0,000
			2,426	0,918	1,761	0,654	0,654	1,698	1,004	0,707	0,635	0,324	0,000	0,000
			0,528	1,071	1,595	0,836	0,836	1,347	1,710	0,698	0,727	0,350	0,000	0,000
			1,213	0,667	1,603	0,712	0,712	0,932	0,551	0,606	0,000	0,330	0,000	0,000
			1,119	1,501	1,840	1,410	1,410	0,831	1,069	0,543	0,195	0,074	0,000	0,000
			1,005	0,847	1,454	2,223	2,223	1,278	0,445	0,421	0,401	0,180	0,000	0,000
			1,113	0,572	30,960	2,304	2,304	1,247	0,356	0,417	0,000	0,000	0,000	0,000
			2,413	0,861	2,434	2,326	2,326	1,070	0,519	0,562	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,855	0,641	3,173	1,421	1,421	0,440	0,709	0,559	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	1,858	0,614	0,614	0,761	0,261	0,427	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	2,527	0,783	0,783	0,893	0,389	0,202	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	2,203	1,498	1,498	0,815	0,388	0,391	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	2,919	2,386	2,386	0,885	0,933	0,567	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,988	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 7. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A6.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100 %	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 01	2,291	1,956	3,077	2,214	1,290	1,513	3,640	2,320	3,041	1,437	1,980	0,969	0,000	0,000
	3,056	3,049	1,553	0,978	2,804	1,803	2,524	1,693	3,346	1,955	1,170	0,895	0,000	0,000
	3,064	1,949	2,204	1,036	1,664	1,498	2,338	1,137	2,692	1,467	1,673	1,256	0,000	0,000
	2,551	1,830	0,390	0,518	0,878	1,080	3,158	1,051	2,666	2,293	2,361	0,870	0,000	0,000
	3,284	1,053	2,419	0,760	1,690	0,600	1,344	0,511	3,219	1,649	1,527	1,030	0,000	0,000
	2,927	1,014	3,157	1,600	2,776	0,572	1,259	1,266	2,813	1,282	0,807	0,929	0,000	0,000
	1,632	0,780	2,888	0,408	1,044	0,556	0,920	0,695	3,182	2,140	1,446	0,883	0,000	0,000
	3,242	1,048	2,800	1,360	1,740	0,552	2,985	1,075	3,056	2,030	0,956	0,388	0,000	0,000
	1,272	0,744	1,434	1,491	2,000	0,773	0,800	0,838	2,053	0,773	0,452	0,352	0,000	0,000
	2,674	1,550	3,184	2,188	1,128	1,560	0,877	0,764	3,076	1,705	0,744	0,435	0,000	0,000
	2,732	2,113	1,464	0,499	2,477	1,248	2,332	0,644	3,189	1,950	0,412	0,316	0,000	0,000
	2,101	1,399	2,480	0,730	0,731	0,820	1,913	0,844	3,428	2,963	0,843	0,528	0,000	0,000
	0,913	1,519	1,403	0,824	3,270	0,950	2,964	0,580	1,905	3,014	0,000	0,280	0,000	0,000
	1,362	1,244	1,284	0,440	1,288	0,531	1,415	0,480	3,474	2,172	0,740	0,406	0,000	0,000
	2,228	2,795	3,164	2,650	1,259	0,505	1,361	0,764	0,000	0,000	0,630	0,444	0,000	0,000
	0,835	0,520	0,970	0,630	2,961	2,291	0,412	0,224	0,000	0,000	1,377	0,274	0,000	0,000
	2,329	1,630	2,571	0,575	0,202	0,225	0,433	0,183	0,000	0,000	1,522	0,479	0,000	0,000
	0,842	0,452	0,928	0,677	0,204	0,203	2,498	0,290	0,000	0,000	1,034	0,830	0,000	0,000
	0,317	0,455	2,560	1,170	0,187	0,260	1,729	0,734	0,000	0,000	1,753	1,066	0,000	0,000
	3,055	1,259	2,124	1,380	0,540	1,338	3,790	1,177	0,000	0,000	0,800	0,774	0,000	0,000
PLACA 02			1,744	1,455	3,297	2,017	2,360	0,922	3,021	1,369	1,027	0,930	0,000	0,000
			1,082	0,636	1,790	0,864	3,022	1,278	2,759	1,332	0,602	0,183	0,000	0,000
			1,748	0,670	2,001	1,216	0,000	0,000	3,352	1,317	0,892	0,397	0,000	0,000
			2,213	1,086	3,237	2,820	0,000	0,000	2,631	1,629	0,824	0,774	0,000	0,000
			2,651	1,984	2,680	1,903	0,000	0,000	2,215	1,338	0,853	0,418	0,000	0,000
			2,940	1,515	2,838	2,221	0,000	0,000	3,429	1,408	0,238	0,177	0,000	0,000
			1,925	0,454	3,303	2,333	2,812	0,596	2,809	1,237	0,550	0,631	0,000	0,000
			2,646	1,441	0,947	0,910	1,626	3,211	3,171	1,539	0,170	0,272	0,000	0,000
			2,355	1,109	0,451	0,688	1,500	1,022	2,642	1,397	0,000	0,376	0,000	0,000
			1,890	0,619	2,085	0,944	2,876	0,500	2,727	1,567	0,211	0,492	0,000	0,000
			0,217	0,357	2,925	0,829	1,525	0,540	2,483	1,331	0,487	0,500	0,000	0,000
			1,587	0,365	0,000	0,150	1,492	1,160	2,515	1,131	0,000	0,000	0,000	0,000
			2,276	2,024	0,224	0,312	2,683	0,500	2,939	1,317	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,323	1,936	0,498	0,307	0,241	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	1,781	1,312	1,292	1,090	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	3,143	2,168	1,554	1,247	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,173	0,240	0,436	0,720	1,029	2,379	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,250	0,173	0,858	1,260	2,117	1,088	0,000	0,000	2,077	0,656	0,000	0,000
			0,000	0,000	2,525	1,180	2,927	1,354	0,000	0,000	2,189	0,887	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	1,527	0,678	0,000	0,000	1,610	0,937	0,000	0,000

Quadro 7. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A6.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100%	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 03			2,267	1,431	2,678	0,978	1,542	0,802	2,665	2,257	1,880	0,702	0,000	0,000
			2,297	0,901	3,188	1,703	0,365	0,246	3,412	2,289	0,997	0,418	0,000	0,000
			2,098	2,445	1,858	0,765	0,000	0,230	0,975	1,867	1,402	0,725	0,000	0,000
			2,592	2,169	3,358	0,746	2,800	1,440	3,349	1,883	1,607	0,770	0,000	0,000
			2,380	1,107	3,577	1,677	2,407	1,020	2,524	1,536	1,300	0,629	0,000	0,000
			0,919	0,622	1,258	0,612	3,431	1,613	3,064	1,561	0,790	0,760	0,000	0,000
			2,882	1,278	2,350	1,189	2,834	1,664	2,978	1,358	0,990	0,643	0,000	0,000
			1,942	0,992	1,716	0,709	2,001	1,113	3,152	2,064	1,626	0,500	0,000	0,000
			3,066	2,060	0,815	0,438	2,209	1,597	2,153	1,452	0,551	0,310	0,000	0,000
			2,413	1,288	1,373	0,702	3,662	1,395	1,553	1,644	0,658	0,262	0,000	0,000
			2,357	2,530	1,402	1,851	1,077	0,894	2,610	1,606	0,446	0,385	0,000	0,000
			2,223	0,517	2,332	0,853	3,335	1,301	1,776	1,777	0,000	0,400	0,000	0,000
			2,286	0,535	0,951	0,588	3,640	1,780	3,318	1,905	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,818	0,862	0,509	0,681	1,865	1,298	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			2,595	0,556	0,813	0,409	3,500	1,850	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			2,650	1,417	0,000	0,000	1,723	0,474	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			2,257	0,956	0,000	0,000	1,320	0,530	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,432	0,342	0,000	0,000	2,602	0,870	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,454	0,636	0,000	0,000	2,915	0,794	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	2,707	1,092	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 8. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A7.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100 %	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 01	1,190	1,154	2,471	1,297	1,446	1,038	2,735	1,260	2,812	1,348	1,100	0,780	0,000	0,000
	1,270	2,170	1,221	0,342	0,638	1,091	2,630	0,886	2,695	1,075	0,544	0,481	0,000	0,000
	1,756	1,323	1,957	0,946	1,087	1,240	1,916	1,584	2,869	1,314	0,697	0,681	0,000	0,000
	2,177	2,224	1,921	1,313	1,535	1,074	1,644	1,330	2,663	1,150	0,776	0,622	0,000	0,000
	1,965	1,524	1,376	0,698	0,480	0,582	2,782	1,232	2,779	1,106	0,660	0,796	0,000	0,000
	2,198	1,650	1,031	0,671	2,594	1,682	2,517	1,711	2,577	0,830	0,351	0,661	0,000	0,000
	0,505	1,084	1,574	0,878	1,891	0,495	1,402	0,850	2,451	1,222	0,477	0,417	0,000	0,000
	2,378	2,005	1,609	0,757	1,340	0,548	0,728	0,883	3,346	1,420	0,364	0,169	0,000	0,000
	1,886	1,369	1,793	0,635	0,781	0,655	1,812	1,246	2,354	1,173	0,439	0,211	0,000	0,000
	2,132	1,400	1,627	0,674	2,121	1,499	2,382	0,968	2,266	0,990	0,339	0,418	0,000	0,000
	2,830	1,469	1,347	0,460	1,766	1,800	1,543	1,385	2,712	1,051	0,308	0,200	0,000	0,000
	1,636	1,375	1,066	0,565	1,238	1,102	1,526	1,119	2,776	0,865	0,312	0,373	0,000	0,000
	1,130	1,150	0,676	0,305	1,614	0,918	2,148	0,954	2,734	1,012	0,421	0,163	0,000	0,000
	1,126	0,736	0,557	0,420	0,405	0,855	2,759	1,648	1,782	1,320	0,252	0,250	0,000	0,000
	2,024	1,569	2,268	0,254	0,357	0,262	2,302	1,648	1,586	1,350	0,187	0,117	0,000	0,000
	0,518	0,724	0,000	0,302	0,320	0,500	0,844	0,605	0,817	0,322	0,632	0,195	0,000	0,000
	1,800	1,268	0,400	0,317	0,290	0,267	0,345	0,963	0,000	0,000	0,153	0,148	0,000	0,000
	1,645	1,187	0,223	0,221	0,000	0,000	0,518	0,467	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,274	1,483	0,000	0,000	0,000	0,000	0,750	0,677	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,383	0,434	0,000	0,000	0,000	0,000	0,789	0,337	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PLACA 02			1,754	1,206	1,753	1,240	0,865	0,970	3,268	1,188	0,837	0,531	0,000	0,000
			2,272	1,906	2,358	0,984	2,022	1,637	3,176	1,319	1,366	0,886	0,000	0,000
			1,549	1,069	1,440	1,130	2,675	1,396	2,876	1,397	0,961	0,488	0,000	0,000
			1,205	0,581	2,551	1,450	2,455	1,652	3,322	1,501	1,748	0,663	0,000	0,000
			1,596	0,819	1,337	1,553	0,919	1,066	2,990	0,915	0,662	0,211	0,000	0,000
			1,237	0,709	1,341	0,468	0,196	1,615	2,473	0,930	2,090	0,922	0,000	0,000
			1,661	0,653	1,554	0,627	2,216	1,138	3,152	0,773	0,940	0,500	0,000	0,000
			0,835	0,453	2,394	1,915	1,755	1,165	3,553	1,522	0,806	0,683	0,000	0,000
			1,614	1,075	2,339	1,629	1,002	0,866	3,394	0,897	1,058	0,487	0,000	0,000
			1,384	1,065	2,489	2,036	2,021	1,429	3,333	1,319	0,825	0,554	0,000	0,000
			1,496	0,966	0,615	0,585	1,236	1,054	2,535	1,294	1,534	0,811	0,000	0,000
			1,113	0,843	0,863	0,461	1,724	0,866	0,465	0,543	1,340	0,522	0,000	0,000
			1,603	0,732	2,148	1,615	0,973	1,015	0,523	0,433	1,901	0,814	0,000	0,000
			0,188	0,411	1,764	1,024	2,022	1,398	0,000	0,000	0,878	0,505	0,000	0,000
			0,202	0,274	1,514	1,007	1,287	0,813	0,000	0,000	0,625	0,433	0,000	0,000
			0,210	0,248	0,000	0,281	2,108	1,352	0,000	0,000	1,603	0,574	0,000	0,000
			0,179	0,249	0,732	0,552	2,429	1,002	0,000	0,000	0,725	0,397	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,320	0,359	1,792	1,041	0,000	0,000	0,797	0,525	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,904	0,821	1,610	1,015	0,000	0,000	0,671	0,517	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,287	0,351	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 8 Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A7.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100%	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 03			1,380	1,059	2,451	1,859	1,893	1,148	2,960	1,779	1,238	0,668	0,000	0,000
			1,387	1,016	2,053	2,387	2,210	0,801	3,117	1,321	1,253	0,641	0,000	0,000
			1,706	1,003	2,287	1,745	2,312	1,198	3,111	1,554	0,935	0,571	0,000	0,000
			0,898	0,502	1,016	1,364	2,674	1,262	3,426	1,350	1,626	0,834	0,000	0,000
			1,342	0,799	1,978	1,771	2,266	1,291	2,929	1,410	0,881	0,447	0,000	0,000
			1,047	0,638	1,890	1,209	1,861	1,099	2,812	2,007	1,656	0,819	0,000	0,000
			1,317	0,576	2,311	0,746	1,698	1,652	3,147	1,166	0,588	0,756	0,000	0,000
			1,638	0,436	1,873	0,815	1,809	1,100	3,042	1,471	2,061	1,005	0,000	0,000
			0,408	0,408	1,434	1,089	1,980	1,089	2,554	1,249	0,968	0,650	0,000	0,000
			1,408	0,601	0,758	0,731	2,145	1,287	3,306	1,336	0,449	0,335	0,000	0,000
			0,733	0,516	1,125	0,947	2,393	0,726	2,836	1,763	1,987	0,669	0,000	0,000
			0,588	0,423	2,151	0,554	1,635	0,625	3,220	1,556	2,313	1,040	0,000	0,000
			1,872	0,469	2,239	0,984	2,406	1,271	3,286	1,418	1,481	0,418	0,000	0,000
			0,655	0,558	2,170	0,808	0,983	0,630	2,461	1,746	0,634	0,346	0,000	0,000
			1,500	1,896	0,661	0,490	0,668	0,411	2,538	1,586	0,776	0,650	0,000	0,000
			0,265	0,210	0,539	0,432	0,427	0,417	3,393	2,227	0,509	0,497	0,000	0,000
			2,515	1,505	0,710	0,394	0,780	0,598	2,209	1,116	0,355	0,162	0,000	0,000
			0,367	0,548	0,312	0,368	0,636	0,575	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,188	0,311	0,165	0,131	0,395	0,341	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,202	0,369	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 9. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A8.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100 %	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 01	2,398	3,006	2,408	2,125	1,266	1,942	1,126	1,366	3,123	1,053	1,852	0,684	0,000	0,000
	1,459	2,047	2,308	1,186	1,517	0,609	2,210	1,425	2,484	1,016	1,335	0,639	0,000	0,000
	2,418	2,625	2,391	1,891	1,364	1,997	2,334	0,666	2,867	0,923	1,362	0,424	0,000	0,000
	2,619	2,416	1,887	1,679	2,536	0,605	0,559	1,018	2,557	1,062	0,999	0,430	0,000	0,000
	1,155	0,612	1,022	0,747	2,608	0,936	2,919	1,890	1,736	0,758	1,309	0,427	0,000	0,000
	1,672	2,213	1,619	0,694	1,135	1,601	2,819	1,356	1,885	0,772	1,325	0,445	0,000	0,000
	2,022	3,012	1,308	0,972	0,602	0,903	1,343	0,956	1,221	1,087	1,457	0,469	0,000	0,000
	1,823	1,532	1,208	0,768	1,792	1,137	0,614	0,403	3,061	1,201	1,656	0,493	0,000	0,000
	1,351	0,696	0,000	0,488	2,267	1,663	2,487	0,808	2,318	0,818	1,331	0,449	0,000	0,000
	1,807	1,230	0,000	0,561	3,409	2,394	2,603	1,207	2,589	0,889	0,654	0,339	0,000	0,000
	1,956	2,383	2,108	0,717	1,315	0,987	2,264	1,327	1,903	1,402	1,335	0,421	0,000	0,000
	2,316	2,540	2,366	2,083	1,771	0,840	0,974	0,391	2,695	1,309	1,218	0,313	0,000	0,000
	0,000	0,028	1,271	1,138	3,170	1,572	0,677	0,492	2,882	1,042	0,000	0,467	0,000	0,000
	2,513	2,286	0,501	0,549	0,980	0,856	1,645	1,153	0,218	0,186	0,000	0,545	0,000	0,000
	2,695	2,576	0,473	0,679	0,000	1,176	1,236	0,700	2,913	1,314	0,000	0,598	0,000	0,000
	2,301	1,991	0,598	0,404	1,056	1,289	2,923	2,284	2,868	1,040	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,319	0,661	0,000	0,309	1,126	1,481	0,479	0,599	3,001	0,995	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,350	0,655	0,000	0,356	0,000	0,690	2,365	2,066	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,365	0,766	0,000	0,519	0,000	0,928	1,431	1,132	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,577	0,405	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PLACA 02			1,573	1,274	2,294	1,732	2,725	1,475	3,362	1,801	2,135	0,958	0,000	0,000
			2,731	1,880	2,658	0,911	3,118	1,165	3,026	1,640	2,103	0,707	0,000	0,000
			2,743	1,393	2,800	2,537	3,057	1,488	2,938	1,530	1,463	0,617	0,000	0,000
			2,793	2,450	1,760	1,439	1,331	0,944	2,845	1,913	2,649	0,778	0,000	0,000
			1,446	1,059	1,695	0,847	1,443	0,875	2,156	1,382	0,782	1,040	0,000	0,000
			1,791	1,645	2,538	2,098	3,004	1,210	1,903	1,490	2,183	0,657	0,000	0,000
			1,974	0,746	2,765	1,734	2,672	0,972	2,307	2,194	2,586	0,970	0,000	0,000
			2,642	1,744	2,680	1,538	0,846	0,618	0,920	0,970	2,167	0,964	0,000	0,000
			2,650	2,129	1,199	0,821	2,312	0,631	2,151	1,154	2,236	0,901	0,000	0,000
			0,471	0,548	0,624	0,478	2,259	1,018	3,073	1,412	1,927	0,838	0,000	0,000
			0,853	0,499	2,481	1,121	0,743	0,386	2,737	1,666	1,239	0,660	0,000	0,000
			0,710	1,046	1,732	1,206	0,766	0,489	2,248	1,670	1,139	0,393	0,000	0,000
			0,544	1,137	0,938	0,915	0,346	0,627	1,873	1,736	1,237	0,640	0,000	0,000
			0,339	0,377	1,119	0,776	0,511	0,590	1,526	0,634	1,718	0,788	0,000	0,000
			0,313	0,531	0,553	0,625	0,392	0,373	1,567	1,648	1,204	0,500	0,000	0,000
			0,537	0,531	1,887	1,259	0,290	0,403	0,000	0,000	1,364	0,489	0,000	0,000
			0,305	0,459	0,248	0,746	0,369	0,340	0,000	0,000	0,910	0,354	0,000	0,000
			0,225	0,464	0,238	0,455	0,320	0,578	0,000	0,000	0,400	0,663	0,000	0,000
			0,000	0,203	0,000	0,295	0,000	0,000	0,000	0,000	0,730	0,385	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,355	0,885	0,000	0,000

Quadro 9. Medidas da radícula e do hipocótilo (cm) na amostra A8.

	BRANCO		1%		3%		10%		20%		30%		100%	
	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 03			2,017	1,946	2,081	2,856	1,823	0,900	3,028	1,463	2,294	0,519	0,000	0,000
			2,698	1,766	3,608	1,832	1,640	0,954	1,868	1,452	2,182	0,817	0,000	0,000
			2,793	1,862	2,192	1,098	2,048	1,520	3,379	1,642	2,153	0,623	0,000	0,000
			1,727	0,982	3,012	1,964	1,229	0,668	3,332	2,038	1,477	0,653	0,000	0,000
			2,674	1,671	2,495	2,181	1,952	1,574	3,790	1,827	2,014	0,521	0,000	0,000
			2,018	2,034	0,518	0,638	1,474	0,893	3,061	1,305	1,171	0,608	0,000	0,000
			1,254	1,180	0,360	0,567	1,589	1,394	2,445	1,418	0,429	0,406	0,000	0,000
			1,233	0,502	1,889	0,478	2,394	1,184	3,229	1,638	0,575	0,358	0,000	0,000
			1,805	0,959	2,654	0,512	2,184	1,565	3,214	2,037	1,138	0,531	0,000	0,000
			2,100	1,496	1,612	2,216	1,517	0,733	3,208	1,177	2,177	0,900	0,000	0,000
			1,992	1,900	2,419	1,966	2,987	1,482	2,526	1,200	1,623	0,923	0,000	0,000
			2,301	1,907	2,668	2,031	2,471	0,920	3,311	1,446	2,515	0,804	0,000	0,000
			1,907	0,684	1,170	1,267	1,908	1,373	3,240	1,173	1,574	0,578	0,000	0,000
			2,720	2,602	1,175	0,498	1,334	0,768	2,957	1,022	1,676	0,609	0,000	0,000
			0,948	1,010	1,461	0,775	2,693	2,085	3,071	1,523	1,936	0,826	0,000	0,000
			1,730	1,786	0,787	0,880	2,659	1,578	3,189	1,918	1,371	0,504	0,000	0,000
			1,819	0,720	0,309	0,580	1,368	0,762	0,000	0,000	1,423	0,276	0,000	0,000
			1,051	0,964	0,000	0,219	0,618	0,800	0,000	0,000	0,327	0,206	0,000	0,000
			1,727	0,941	0,000	0,000	0,835	0,810	0,000	0,000	0,435	0,357	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

APÊNDICE 2

Tabela 1. Variação do COD durante o teste Zahn-Wellens (mg C L⁻¹)

Amostra	Dia 0	Dia 3	Dia 7	Dia 15	Dia 23	Dia 28
A0	537	444	412	330	290	250
A3	683	513	441	378	304	271
A4	474	420	334	273	233	215
A6	393	340	211	175	115	98
A7	358	233	133	99	77	63
Branco	8,1	5,3	4	4	3	4
Referência	613	119,2	11	8	10	7